

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERA E INGENIERO AMBIENTALES**

**TEMA:
EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE DQO Y TENSOACTIVOS USANDO
UN BIOPOLÍMERO DE CÁSCARA DE PLÁTANO COMO FLOCULANTE PREVIO
A UN TRATAMIENTO ANAEROBIO**

**AUTORES:
MENDOZA DELGADO NATHALY LIZETH
SANTANA BURGOS FABRICIO ALEXANDER**

**TUTOR:
RENATO GABRIEL SÁNCHEZ PROAÑO**

Quito, marzo de 2021

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros **Nathaly Lizeth Mendoza Delgado** con documento de identificación N° **1750512517** y **Fabricio Alexander Santana Burgos** con documento de identificación N° **1726714783**, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado **EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE DQO Y TENSOACTIVOS USANDO UN BIOPOLÍMERO DE CÁSCARA DE PLÁTANO COMO FLOCULANTE PREVIO A UN TRATAMIENTO ANAEROBIO**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERA E INGENIERO AMBIENTALES, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Nathaly Lizeth Mendoza Delgado
175051251-7



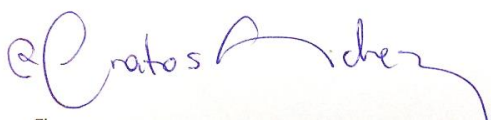
Fabricio Alexander Santana Burgos
172671478-3

Quito, marzo 2021

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo Experimental, **EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE DQO Y TENSOACTIVOS USANDO UN BIOPOLÍMERO DE CÁSCARA DE PLÁTANO COMO FLOCULANTE PREVIO A UN TRATAMIENTO ANAEROBIO** realizado por la señorita Nathaly Lizeth Mendoza Delgado y el señor Fabricio Alexander Santana Burgos, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, marzo 2021



.....
Renato Gabriel Sánchez Proaño
1715542401

ÍNDICE

| | | |
|--------|---|----|
| 1. | INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 2. | OBJETIVOS | 3 |
| 2.1. | Objetivo general | 3 |
| 2.2. | Objetivos específicos..... | 3 |
| 3. | MARCO TEÓRICO | 4 |
| 3.1. | Caracterización del agua residual..... | 4 |
| 3.1.1. | Parámetros Físicos | 4 |
| 3.1.2. | Parámetros Químicos | 6 |
| 3.1.3. | Parámetros Biológicos..... | 8 |
| 3.2. | Tratamiento de agua residual | 10 |
| 3.2.1. | Tratamiento Preliminar | 11 |
| 3.2.2. | Tratamiento Primario | 11 |
| 3.2.3. | Tratamiento Secundario | 11 |
| 3.2.4. | Tratamiento Terciario..... | 12 |
| 3.3. | Tratamiento del agua residual en las zonas rurales del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ)..... | 12 |
| 3.4. | Biopolímeros en el agua residual | 14 |
| 3.5. | Plátano | 17 |
| 3.5.1. | Taxonomía..... | 17 |
| 3.5.3. | Requerimientos edafoclimáticos..... | 19 |
| 3.5.4. | Cáscara de plátano | 19 |
| 3.6. | Tratamiento de coagulación-floculación | 21 |
| 3.6.1. | Coagulación | 21 |
| 3.6.2. | Mecanismo de coagulación | 21 |
| 3.6.3. | Floculación | 22 |
| 3.7. | Biocoagulantes | 22 |
| 3.8. | Prueba de jarras | 23 |
| 4. | MATERIALES Y MÉTODOS | 25 |
| 4.1. | Materiales..... | 25 |

| | |
|---|----|
| 4.2. Métodos... | 25 |
| 4.3. Lugar de muestreo | 26 |
| 4.3.1. Parque lineal las cuadras | 26 |
| 4.3.2. Toma de muestras | 27 |
| 4.4. Caracterización fisicoquímica del agua residual muestreada | 28 |
| 4.4.1. Parámetros físicos | 28 |
| 4.4.2. Parámetros químicos | 28 |
| 4.5. Obtención del biopolímero | 29 |
| 4.6. Determinación de la dosis óptima | 31 |
| 4.7. Análisis estadístico | 32 |
| 4.7.1. Porcentaje de remoción | 32 |
| 4.8. Modelo estadístico..... | 33 |
| 4.8.1. Hipótesis..... | 33 |
| 4.8.2. . Análisis de varianza ANOVA..... | 34 |
| 4.8.3. Coeficiente de determinación | 35 |
| 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 37 |
| 5.1. Resultados..... | 37 |
| 5.1.1. Análisis de parámetros físicos | 37 |
| 5.1.2. Análisis de DQO | 38 |
| 5.1.3. Análisis de Tensoactivos..... | 43 |
| 5.1.4. Análisis de DBO. | 45 |
| 5.1.5. Análisis Estadístico | 48 |
| 5.2. Discusión..... | 56 |
| 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 59 |
| 6.1. Conclusiones | 59 |
| 6.2. Recomendaciones..... | 60 |
| 7. BIBLIOGRAFÍA..... | 61 |
| 8. ANEXOS | 65 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Características físicas, químicas, biológicas del agua residual y su procedencia..... | 9 |
| Tabla 2 Tipos de tratamiento de aguas residuales en las PTAR's de las zonas rurales del DMQ..... | 13 |
| Tabla 3 Taxonomía de la planta de plátano | 17 |
| Tabla 4 Ventajas y desventajas de los coagulantes naturales | 23 |
| Tabla 5 Materiales, equipos y reactivos | 25 |
| Tabla 6 Concentraciones determinadas en la prueba de jarra..... | 31 |
| Tabla 7 Matriz experimental con la variable DQO | 32 |
| Tabla 8 Matriz experimental con la variable Tensoactivos | 32 |
| Tabla 9 Tabla ANOVA..... | 34 |
| Tabla 10 Parámetros iniciales del agua residual muestreada..... | 37 |
| Tabla 11 Análisis de los parámetros físicos..... | 38 |
| Tabla 12 Prueba de eficiencia parcial a los 30 minutos | 38 |
| Tabla 13 Prueba de eficiencia parcial a los 60 min | 39 |
| Tabla 14 Prueba de eficiencia parcial a los 90 min..... | 39 |
| Tabla 15 Prueba de eficiencia parcial a los 30 min en el segundo rango de concentraciones. | 40 |
| Tabla 16 Prueba de eficiencia parcial a los 60 min en el segundo de concentraciones .. | 40 |
| Tabla 17 Prueba de eficiencia parcial a los 90 min en el segundo rango de concentraciones. | 41 |
| Tabla 18 Prueba de eficiencia parcial a los 30 min en el tercer rango de concentraciones..... | 41 |
| Tabla 19 Prueba de eficiencia parcial a los 60 min en el tercer rango de concentraciones..... | 42 |
| Tabla 20 Prueba de eficiencia parcial a los 90 min en el tercer rango de concentraciones..... | 42 |
| Tabla 21 Análisis de Tensoactivos en la prueba de eficiencia parcial a los 30 min | 43 |
| Tabla 22 Análisis de Tensoactivos en la prueba de eficiencia parcial a los 60 min | 44 |
| Tabla 23 Análisis de Tensoactivos en la prueba de eficiencia parcial a los 90 min | 44 |
| Tabla 24 Primer análisis de DBO5 en el rango de concentración de 100 y 1000 mg/l.... | 45 |
| Tabla 25 Segundo análisis de DBO5 en el rango de concentración de 102 y 110 mg/l.. | 46 |

| | |
|--|----|
| Tabla 26 Tercer análisis de DBO5 en el rango de concentración de 108 y 109 mg/l..... | 47 |
| Tabla 27 Cuadro ANOVA DQO..... | 49 |
| Tabla 28 Cuadro de Análisis de Varianza de DQO y Test de Tukey al 0.05%. | 50 |
| Tabla 29 Cuadro ANOVA Tensoactivos..... | 51 |
| Tabla 30 Cuadro de Análisis de Varianza de Tensoactivos y Test de Tukey al 0.05% .. | 52 |
| Tabla 31 Porcentaje de remoción de DQO en el primer rango de concentraciones a los 30 min de eficiencia parcial..... | 53 |
| Tabla 32 Porcentaje de remoción de DQO en el primer rango de concentraciones a los 60 min de eficiencia parcial..... | 53 |
| Tabla 33 Porcentaje de remoción de DQO en el primer rango de concentraciones a los 90 min de eficiencia parcial. | 54 |
| Tabla 34 Porcentaje de remoción de DQO en el segundo rango de concentraciones a los 30 min de eficiencia parcial..... | 54 |
| Tabla 35 Porcentaje de remoción de DQO en el segundo rango de concentraciones a los 60 min de eficiencia parcial | 54 |
| Tabla 36 Porcentaje de remoción de DQO en el primer rango de concentraciones a los 90 min de eficiencia parcial..... | 55 |
| Tabla 37 Porcentaje de remoción de DQO en el tercer rango de concentraciones a los 30 min de eficiencia parcial..... | 55 |
| Tabla 38 Porcentaje de remoción de DQO en el tercer rango de concentraciones a los 60 min de eficiencia parcial..... | 55 |
| Tabla 39 Porcentaje de remoción de DQO en el tercer rango de concentraciones a los 90 min de eficiencia parcial..... | 56 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 Estructura de un biopolímero | 14 |
| Figura 2 Estructura de la planta del plátano..... | 18 |
| Figura 3 Parque lineal las cuadras | 26 |
| Figura 4 Gráfico de la remoción de DQO en la concentración inicial a los 30 minutos de eficiencia..... | 39 |
| Figura 5 Gráfico de la remoción de DQO en la primera reducción a los 60 min de eficiencia parcial..... | 41 |
| Figura 6 Gráfico de la remoción de DQO en la segunda reducción de concentración a los 90 min de eficiencia..... | 43 |
| Figura 7 Gráfico de Tensoactivos a los 30, 60 y 90 min de eficiencia parcial | 45 |
| Figura 8 Gráfico de la remoción de DBO ₅ en la primera reducción de concentración. .. | 46 |
| Figura 9 Gráfico de la remoción de DBO ₅ en la tercera reducción de concentración..... | 47 |
| Figura 10 Gráfico de la remoción de DBO ₅ en la segunda reducción de concentración | 48 |
| Figura 11 Interpretación de la prueba de Tukey DQO | 50 |
| Figura 12 Interpretación de la prueba de Tukey Tensoactivos | 52 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | |
|---|----|
| Ecuación 1 Cálculo del porcentaje de remoción | 33 |
| Ecuación 2 Modelo estadístico..... | 33 |
| Ecuación 3 Suma de cuadrados de tratamientos | 35 |
| Ecuación 4 Suma de cuadrados total | 35 |
| Ecuación 5 Suma de cuadrados del error..... | 35 |
| Ecuación 6 Coeficiente de determinación | 35 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|---|----|
| Anexo 1 Registro Fotográfico de la obtención de biopolímero | 65 |
| Anexo 2 Muestreo de agua residual | 67 |
| Anexo 3 Prueba de jarras | 68 |
| Anexo 4 Análisis de DQO | 69 |
| Anexo 5 Análisis de DBO ₅ | 70 |

RESUMEN

Este proyecto de investigación se enfoca en la implementación de soluciones ante la alta degradación que están sufriendo los recursos hídricos con el vertido de sustancias tóxicas generadas por las industrias y la necesidad de disponer de técnicas que sean económicamente asequibles.

Las aguas residuales que presentan gran cantidad de aceites y detergentes contienen altas concentraciones de grasas y tensoactivos que presentan baja biodegradabilidad, provocando un gran impacto sobre el medio ambiente, por lo que se emplean varios métodos para el tratamiento de estas aguas.

La presente investigación se basa principalmente en obtener un biopolímero a partir de la cascara del plátano y posteriormente utilizarlo como floculante.

A esta agua tratada de forma fisicoquímica se la procederá a tratar de manera anaerobia. Esta técnica posee un gran interés en la búsqueda de nuevos procesos de tratamiento de los residuos producidos como lodos, los cuales debido al origen natural del biopolímero no deberían tener restos de compuestos metálicos.

Este trabajo propone una técnica sencilla y práctica como una alternativa a los procesos de remoción convencionales, utilizando un material que es accesible y económico como la cascara de plátano para ver su eficiencia en la remoción de tensoactivos y DQO.

Los biopolímeros naturales actualmente han llegado a convertirse en compuestos de gran interés, debido a que no generan efectos nocivos al ambiente y a la salud humana, dada su naturaleza orgánica y biodegradable, además de obtenerlos a un bajo costo. Por esta razón al utilizar coagulantes-floculantes naturales obtenidos de residuos que

generalmente son desechos, se busca reducir o sustituir el consumo de coagulantes químicos que producen un efecto negativo al medio ambiente y al ser humano.

Palabras clave: Coagulante, floculante, plátano, DQO, tensoactivos, DBO5, biopolímero.

ABSTRACT

This research project focuses on the implementation of solutions to the high degradation that water resources have suffered with the dumping of toxic substances generated by the industries and the need to have techniques that are economically affordable.

Wastewater containing a large quantity of oils and detergents contains high concentrations of fats and surfactants, which are substances of low.

biodegradability, they have also caused a great impact on the environment, so various methods are used to treat these waters, such as coagulation and flocculation, which consists of adding chemical additives in order to favor the sedimentation of colloidal matter and the sedimentation speed due to floc formation. The present investigation is based on obtaining a biopolymer from the banana peel and subsequently using it as a flocculant.

This physicochemical treated water was treated anaerobically. This technique is of great interest in the search for new processes for treating waste produced as sludge, which due to the natural origin of the biopolymer should not have traces of metallic compounds.

This work proposes a simple and practical technique as an alternative to conventional removal processes, I use a material that is accessible and inexpensive such as banana peel to see its efficiency in the removal of surfactants and COD.

Natural biopolymers currently have become compounds of great interest because they do not generate harmful effects to the environment and human health, given their organic and biodegradable nature, in addition to obtaining them at a low cost (GALLARDO, 2017). For this reason, when using natural coagulants-flocculants

obtained from residues that are generally waste, it is sought to reduce or replace the consumption of chemical flocculants that produce a negative effect on the environment and on human beings.

Key words: Coagulant, flocculant, banana, DQO, surfactants, BOD5, biopolymer.

1. INTRODUCCIÓN

El agua recubre el 71% de la superficie terrestre, solo el 2,53 % del agua es dulce y el resto es salada. Aproximadamente 2/3 del agua dulce se encuentran en los glaciales y al abrigo de nieves perpetuas. Adicional a esto la calidad y la cantidad de este recurso está siendo afectada por el aumento de la contaminación por parte de fuentes puntuales o no puntuales como las industrias y la agricultura y el constante incremento de la población. Debido a la gran importancia que tiene el agua dulce, es necesario tener en cuenta el cuidado y su tratamiento, dado que las aguas residuales tratadas o no tratadas se descargan en su gran mayoría a los ríos y océanos afectando de esta manera a todo ser viviente que se encuentren en ellas (UNESCO, 2003).

Damián (2016) establece que las aguas residuales presentan una gran cantidad de aceites y detergentes contienen altas concentraciones de grasas y tensoactivos, y presentan una baja biodegradabilidad, se pueden emplear varios métodos para su tratamiento, uno de los cuales es la utilización de coagulantes y floculantes. Los agentes convencionales utilizados en la coagulación-floculación son productos químicos como sulfato de aluminio, sulfato férrico, sulfato ferroso, cloruro férrico, policloruro de aluminio, siendo el más utilizado el sulfato de aluminio. Estos compuestos son muy efectivos para este tratamiento, pero también existe un alto riesgo si no son utilizados adecuadamente, ya que pueden causar daños tanto a las personas como a plantas y animales.

Los coagulantes químicos al disolverse en el agua forman iones complejos, polímeros e hidróxido de aluminio insoluble que puede ser absorbido por las partículas coloidales suspendidas lo cual produce su desestabilización y su posterior sedimentación (Telenchano, 2017).

Por esta razón actualmente se buscan nuevas alternativas para dar tratamientos adecuados a las aguas residuales al utilizar productos naturales y así permitir reducir o sustituir el consumo de coagulantes químicos, además es una alternativa para disminuir los costos en las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas y no aumentan la conductividad eléctrica del agua como los agentes convencionales (Díaz, 2015) Uno de los productos que se utilizo es el biopolímero obtenido de la cáscara de plátano, yuca y de algunas semillas las cuales en comparación de los productos químicos son seguros para la salud humana y para el medio ambiente, por su alto contenido de almidón, gluten, celulosa, glucógeno, entre otros compuestos naturales (Rudy Solis, 2012).

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es utilizar la coagulación y floculación como alternativa a los procesos de remoción convencionales, al utilizar un material que sea accesible y económico como lo es la cáscara del plátano.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar la remoción de DQO y tensoactivos usando un biopolímero de cáscara de plátano como floculante previo a un tratamiento anaerobio.

2.2. Objetivos específicos

- Obtener el biopolímero de la cáscara de plátano.
- Establecer la dosis óptima de biopolímero para determinar la remoción de DQO y tensoactivos.
- Evaluar la disminución de DQO y tensoactivos del agua residual.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Caracterización del agua residual

Se denomina agua residual a todo líquido que resulte de las actividades domésticas e industriales; por lo que se puede decir que la generación del agua residual está vinculada con el desarrollo cotidiano de las actividades humanas. Para poder determinar las características del agua residual se debe tener en cuenta los diferentes tipos de origen, siendo los principales el origen doméstico, industrial y agrícola (Romero, 1999).

El agua residual presenta diferentes componentes con características orgánicas e inorgánicas, en algunos casos estos compuestos están sujetos a transformaciones bioquímicas gracias a la acción de microorganismos o en otros casos sufren cambios debido a reacciones químicas. La caracterización ayuda a cuantificar a los compuestos orgánicos en términos de la demanda de oxígeno necesario para su estabilización y también ayuda incluir ensayos y pruebas de laboratorio que proporcionen información real de los compuestos inorgánicos. Las características de los componentes del agua residual son evaluadas a través de parámetros físicos, químicos y microbiológicos (Vaca, 2016).

3.1.1. Parámetros Físicos

3.1.1.1. Olor.

Son producto de la liberación de gases que se generan en la descomposición de la materia orgánica. El agua residual tiene un olor característico debido a la presencia de sulfuro de hidrógeno que es el resultado de la reducción de sulfatos a sulfitos por acción de microorganismo anaerobios (Metcalf y Eddy, 2003).

3.1.1.2. Color.

El agua residual fresca presenta dos coloraciones: una coloración gris cuando es agua recién generada y negra cuando es agua residual envejecida. El color negro se debe generalmente a la formación de sulfuros metálicos por reacción del sulfuro liberado de forma anaerobia con los metales que se encuentran en el agua residual (Romero, 1999).

3.1.1.3. Temperatura.

Es necesario conocer la temperatura del agua residual ya que este parámetro determina el estado actual de las aguas residuales. Tiene una influencia muy importante sobre el desarrollo de las reacciones químicas, las velocidades de reacción y la actividad microbiológica (Metcalf y Eddy, 2003).

3.1.1.4. Sólidos.

Según Collazos, (2008) se denomina sólido a la materia que se encuentra suspendida o disuelta en el agua, afectando de manera negativa la calidad de esta. Los sólidos en el agua residual son:

- Sólidos totales
 - Sólidos totales fijos
 - Sólidos totales volátiles
 - Sólidos suspendidos totales
 - Sólidos suspendidos fijos
 - Sólidos suspendidos volátiles
 - Sólidos disueltos totales
 - Sólidos disueltos fijos
 - Sólidos disueltos volátiles

3.1.2. *Parámetros Químicos*

3.1.2.1. Oxígeno disuelto

Es un gas de baja solubilidad en el agua, necesario para la vida acuática aerobia. Es importante conocer la disponibilidad del oxígeno disuelto ya que la baja presencia de este limita la capacidad auto purificadora de los cuerpos de agua. La concentración de saturación de oxígeno disuelto es función de la temperatura, de la presión atmosférica y de la salinidad del agua (Romero, 1999, pág. 19).

3.1.2.2. Nitrógeno

Es un nutriente esencial para el crecimiento de protistas y plantas. Las formas de interés en aguas residuales son las del nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitrógeno de nitritos y nitratos. Los datos de nitrógeno son necesarios para evaluar las aguas residuales por tratamientos biológicos (Romero, 1999, pág. 19).

3.1.2.3. Fósforo

También es un nutriente esencial para el crecimiento de protistas y plantas. Es importante para el crecimiento de algas en aguas superficiales, por lo cual existe un interés en removerlo de las aguas residuales. En aguas residuales domésticas el contenido de fósforo oscila entre 6 y 20 mg/L; las formas más comunes son los ortofosfatos, polifosfatos y fosfatos orgánicos (Romero, 1999, pág. 19).

3.1.2.4. Carbono

Es la cantidad de carbono unido a un compuesto orgánico y se usa frecuentemente como indicador no específico de la calidad del agua. Se mide por la cantidad de dióxido de

carbono que se genera al oxidar la materia orgánica en condiciones especiales (Vaca, 2016).

3.1.2.5. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Es la cantidad de oxígeno que se necesita para que los microorganismos pueden estabilizar la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias (Romero, 1999).

3.1.2.6. Demanda química de oxígeno (DQO)

Se usa para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente químico oxidante fuerte a alta temperatura (Romero, 1999).

3.1.2.7. Metales pesados

Dentro de los metales pesados se incluyen a la plata, bario cadmio, cromo, cobre, cobalto, níquel, plomo, zinc, hierro, mercurio entre otros. A una alta concentración los metales pesados son tóxicos y otros se biomagnifican a través de la cadena natural en los organismos vivos como es el caso del mercurio y del plomo que tienen graves efectos sobre la salud (Romero, 1999).

3.1.2.8. Pesticidas

Están formados por compuestos organoclorados y organofosforados, poco solubles en agua, bioacumulables, difíciles de biodegradar y que se transmiten a través de la cadena alimenticia. Son utilizados para detener o controlar el crecimiento de vida tanto animal como vegetal (Romero, 1999).

3.1.2.9. Potencial hidrógeno (pH)

Es una medida de la concentración del ion hidrogeno en el agua, expresada como el logaritmo negativo de la concentración molar de ion hidrógenos (Romero, 1999).

3.1.2.10. Cloruros

Se encuentran comúnmente en aguas residuales debido a que cada persona contribuye con 6 a 9 gramos por día. Los cloruros dificultan la medición de los ensayos en la DQO en una concentración mayor a 15 000 ppm son considerados tóxicos para el tratamiento biológico convencional, dado que la mayoría de los viales para la medición de DQO contienen sulfato de mercurio, que ayuda a la remoción de los cloruros, lo que producirá un error y aumentará la DQO. (Romero, 1999).

3.1.2.11. Tensoactivos

Son compuestos constituidos por moléculas orgánicas grandes, polares, solubles en agua y aceites, que tienen la propiedad de disminuir la tensión superficial de los líquidos en que se hallan disueltos. Según el tipo de grupo polar hidrófilo se clasifican en: aniónicos, catiónicos y no iónicos. Su presencia disminuye la tensión superficial del agua y favorece la formación de espumas, aun en bajas concentraciones e inhiben la actividad biológica y disminuyen la solubilidad del oxígeno (Romero, 1999).

3.1.3. *Parámetros Biológicos*

3.1.3.1. Coliformes

Se utiliza a los coliformes como organismos indicadores de la existencia de organismos productores de enfermedades que pueden existir en el agua residual. En los excrementos

diarios del ser humano se encuentran aproximadamente entre 10^9 y 10^{11} coliformes. Se considera al *E. coli* como las bacterias coliformes más representativas de contaminación fecal (Romero, 1999, pág. 19).

En la siguiente tabla se detalla las características del agua residual con su respectiva procedencia

Tabla 1:

Características físicas, químicas, biológicas del agua residual y su procedencia

| Características | Procedencia |
|--------------------------|---|
| Propiedades físicas: | Aguas residuales domésticas e industriales, degradación natural de materia orgánica |
| Color | |
| Olor | Aguas residuales en descomposición, residuos industriales |
| Sólidos | Agua de suministro, aguas residuales domésticas e industriales, erosión del suelo e infiltración. |
| Temperatura | |
| Constituyentes químicos: | Aguas residuales domésticas e industriales |
| Pesticidas | Residuos agrícolas |
| Agentes tensoactivos | Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales. |
| Cloruros | Aguas residuales domésticas agua de suministro, infiltración de agua subterránea. |
| Metales pesados | Vertidos industriales |
| Nitrógeno | |
| pH | Residuos agrícolas y aguas residuales domésticas. |
| Fósforo | Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales. |

| Características | Procedencia |
|-------------------------------------|--|
| Gases: Sulfuro de hidrógeno | Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales; aguas de escorrentía |
| Oxígeno | Descomposición de residuos domésticos. |
| Constituyentes biológicos: Algas | Agua de suministro; infiltración de agua superficial |
| Protistas: Eubacterias | Cursos de agua y plantas de tratamiento |
| Arqueobacterias | Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento. |
| | Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento. |

Nota: En la tabla se describe los parámetros de caracterización del agua residual y su fuente de procedencia Tomado de Metcalf y Eddy (2003)

3.2. Tratamiento de agua residual

Se define como tratamiento de aguas residuales al conjunto de operaciones y procesos unitarios que tienen por objetivo disminuir la contaminación del agua, previo a la descarga en un cuerpo de agua receptor que cumplen con los parámetros establecidos en la normativa legal vigente a nivel nacional (García, 2018).

El tratamiento de agua residual se divide en 4 etapas, estas son: tratamiento preliminar o pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario (García, 2018).

3.2.1. Tratamiento Preliminar

Es una serie de procesos físicos cuyo objetivo es eliminar sólidos gruesos, arenas, aceites, grasas u otro objeto indeseable, ya que al no ser removidos pueden causar inconvenientes como incrustaciones u obstrucciones en los demás procesos de tratamiento (Marsilli, 2005).

3.2.2. Tratamiento Primario

Se define como un conjunto de procesos fisicoquímicos que tiene como finalidad la eliminación parcial de sólidos orgánicos e inorgánicos a través de sedimentación, filtración, floculación, flotación y precipitación química (García, 2018).

3.2.3. Tratamiento Secundario

Son todos los procesos de tratamiento biológicos para remover materia orgánica disuelta y material en suspensión, con la ayuda de microorganismos aerobios o anaerobios que degradan la materia orgánica convirtiéndola en materia inerte (Vaca, 2016).

- **Tratamiento Anaerobio:** la degradación anaerobia de sustancias orgánicas tiene lugar en ausencia de oxígeno. Los microorganismos anaerobios emplean las sustancias orgánicas como fuente de alimento, logrando su degradación. Los procesos anaerobios son apropiados para el tratamiento de aguas residuales con concentraciones muy elevadas de sustancias orgánicas, como las que se producen, por ejemplo, en la industria alimentaria o en la papelera y domésticas. (Hamburg, 2010)
- **Tratamiento Aerobio:** Los procesos biológicos permiten eliminar de las aguas residuales las sustancias biodegradables disueltas (substrato). El substrato suministra la

fuelle de alimento a los microorganismos y se transforma en condiciones aerobias en biomasa, dióxido de carbono y agua. Los microorganismos aerobios necesitan oxígeno para respirar. Además del sustrato, generalmente también se tienen que eliminar del agua residual los compuestos de nitrógeno como el amonio y los nitratos (Hamburg, 2010).

3.2.4. *Tratamiento Terciario*

Tiene como objetivo la eliminación de nutrientes como el nitrógeno y fósforo por medio de procesos tanto físicoquímicos como biológicos. Y la eliminación de agentes patógenos por medio de desinfección (García, 2018).

3.3. Tratamiento del agua residual en las zonas rurales del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ).

El Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) presenta una población de alrededor de 2 700.000 habitantes según datos del último censo realizado en el 2010, donde también se determinó que el 71,8% de los habitantes del DMQ se encuentran en zonas urbanas y el 28,2% restante vive en zonas rurales (SNI, 2017).

La EPMAPS (2020) presenta una cifra promedio de 3% de cobertura de Tratamiento de Aguas Residuales en todo el DMQ. Esto se lleva a cabo por medio del Programa de Descontaminación de los Ríos en Quito que tiene como objetivo principal efectuar un manejo integral y adecuado de los residuos líquidos generados por la población (descargas domésticas) y actividades productivas del DMQ (descargas industriales) mediante su intercepción, conducción y tratamiento de las aguas residuales urbanas; de manera que minimicen los impactos negativos que actualmente se derivan de la descarga directa a los ríos y quebradas.

En los sectores rurales del DMQ existen PTAR's que prestan servicio a las parroquias de: Gualea, Nono, Pacto, Pintag, Puéllaro y San José de Minas.

A continuación, se detalla cada una de las PTARs de las parroquias antes mencionadas y los diferentes tipos de tratamiento existentes.

Tabla 2

Tipos de tratamiento de aguas residuales en las PTAR's de las zonas rurales del DMQ.

| TIPO DE TRATAMIENTO | | | | | |
|----------------------------|-----------------------|---|-----------------|--|------------------|
| PTARs | Pretratamiento | | Primario | Secundario | Terciario |
| GUALEA CRUZ | Cribado desarenador | y | Fosa Séptica | Filtro Anaerobio | No tiene |
| LAS TOLAS | Cribado desarenador | y | No tiene | Lodos activados con aireación prolongada | Cloración |
| BELLAVISTA | Cribado desarenador | y | Tanque Imhoff | Humedal artificial | - |
| NONO | Cribado desarenador | y | No tiene | Lodos activados con aireación prolongada | Cloración |
| INGAPI | Cribado | | Fosa séptica | Humedal Artificial | - |
| LA DELICIA | Cribado desarenador | y | No tiene | Lodos activados con aireación prolongada | Cloración |
| YURAC | No tiene | | Fosa Séptica | No tiene | - |
| CHACHIL | No tiene | | Fosa Séptica | Filtro anaerobio | - |

| TIPO DE TRATAMIENTO | | | | |
|----------------------------|-----------------------|-----------------|-------------------|------------------|
| PTARs | Pretratamiento | Primario | Secundario | Terciario |
| PINTAG | No tiene | Tanque Imhoff | Filtro anaerobio | - |
| UBILLUS | Cribado | Fosa séptica | Filtro anaerobio | - |
| ALONGUINCHO | No tiene | Fosa séptica | - | - |
| SAN LUIS DE ALONGUINCHO | No tiene | Fosa séptica | - | - |
| PINGUILLA | Cribado desarenador | y - | Vermifiltración | Cloración |
| LA CALERA | - | Fosa séptica | Filtro anaerobio | - |

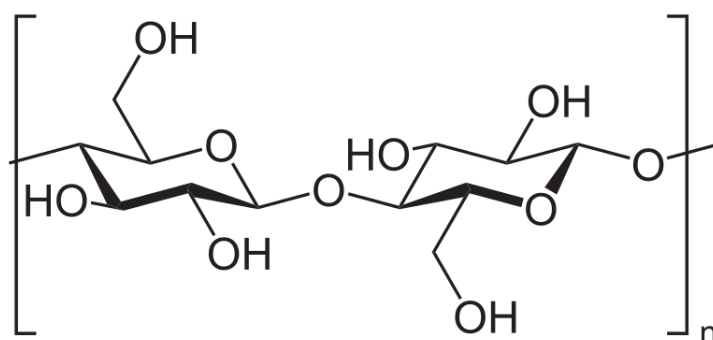
Nota: En la tabla se detalla todas las plantas de tratamiento del DMQ y los tipos de tratamiento que realizan
Adaptado de EPMAPS (2020) /García (2018)

3.4.Biopolímeros en el agua residual

Los biopolímeros son macromoléculas provenientes de los seres vivos, donde las tres familias principales son: proteínas (fibroínas, globulinas, entre otras), polisacáridos (celulosa, alginatos, entre otros), ácidos nucleicos (ADN, ARN, entre otros), también existen otros más singulares como los polis terpenos (caucho natural), los polifenoles (lignina) o algunos poliésteres como los polihidroxicanoatos producidos por bacterias. (Freire M. , 2018)

Figura 1

Estructura de un biopolímero



Nota: Tomado de Freire (2018)

Los biopolímeros son capaces de eliminar una gran gama de contaminantes suspendidos, pero eliminan en muy poca cantidad los sólidos disueltos, ya sean orgánicos e inorgánicos que se encuentran en aguas residuales, las cuales son provenientes de hogares, industrias, o causadas por la lluvia. Los biopolímeros son macromoléculas que están presentes en los seres vivos, también se los considera materiales poliméricos o macromoléculas sintetizadas por los seres vivos. El biopolímero más abundante en la naturaleza es la celulosa, el almidón también es un polímero natural cuya estructura posee macromoléculas ordenadas en capas y cuyas características (composición, cantidad, forma) varían del tipo de fuente que provenga (Martínez, 2018).

Los biopolímeros usados para el proceso de coagulación -floculación pueden clasificarse en naturales y sintéticos, donde los polielectrolitos naturales incluyen a los polímeros de origen biológico y los derivados del almidón, celulosa y alginatos. Además, según el tipo de carga se los clasifica en polielectrolitos aniónicos, catiónicos y no iónicos (negativos, positivos o neutros) respectivamente. La acción de los polielectrolitos se puede clasificar en tres categorías: la primera cuando actúan como coagulantes disminuyendo la carga de la partícula, la segunda cuando forman puentes entre las partículas y la tercera puede definirse como una acción de coagulación-floculación de puentes, que es el resultado de utilizar polielectrolitos catiónicos de alto peso molecular (Rudy Solís, 2012). El almidón es uno de los

más utilizados por su alto peso molecular y porque contiene alrededor del 20% de una sustancia soluble llamada amilosa y el 80% de una parte insoluble llamada amilopectina (Rudy Solis, 2012).

En los estudios realizados por Monica Gallardo (2017) sobre la clarificación del agua, uno de los parámetros más utilizados es la reducción de la turbidez, diferentes trabajos experimentales sobre coagulación y floculación de origen natural, dan como resultado que las extractos acuosos de semillas de moringa oleifera es uno de los más estudiados por su eficiencia en el tratamiento de aguas residuales, los reportes encontrados dan como resultado el alto rendimiento de hasta el 98% en la eliminación de varios contaminantes (turbidez, solidos suspendidos, DQO, metales pesados), las vainas de *cassia obtusifolia* han demostrado una remoción de hasta el 40 % de la DQO en aguas residuales con una dosificación de 3,2 mg/L, y las vainas de *abelmoschus esculentus* (okra), que es un polisacárido aniónico utilizado en la eliminación de la turbidez, además se ha utilizado de manera eficiente como coadyuvantes, por ejemplo se ha investigado dosis bajas de 88,0 mg/L de Fe^{3+} y con dosis de 3,20 mg/L de mucilago de okra, logro una óptima capacidad de coagulación del 97,24 % en la remoción de turbidez y un 86 % de la DQO. Biopolímeros elaborados con escamas de pescado, donde se utilizó la proteína como agente coagulante en una dosis de 5000 mg/L remueve hasta el 98 % de la DQO.

Daniela Trujillo (2014) en su publicación “Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano” menciona que durante las pruebas de jarras y los datos obtenidos indican que el biopolímero de plátano utilizado es efectivo como ayudante de floculante, en comparación con un floculante químico como es el sulfato de aluminio. De este modo se demuestra que el biopolímero de plátano es favorable para

sustituir el uso de los polielectrolitos comerciales y reducirlos costos de los tratamientos de coagulación y floculación.

Rudy Solís (2012) en su artículo “MEZCLAS CON POTENCIAL COAGULANTE PARA CLARIFICAR AGUAS SUPERFICIALES” menciona que los coagulantes elaborados con almidón de banano mezclado con sulfato de aluminio son eficientes para la remoción de turbidez en un 98,7 % con una dosis óptima del 30 mg/L. por lo tanto, el almidón de plátano es un excelente coagulante para la remoción no solo de la DQO y tensoactivos sino también para la eliminación de la turbidez.

3.5.Plátano

El plátano es el cuarto alimento más importante del mundo después del arroz, el trigo y el maíz, en términos del valor bruto de la producción. Este se cultiva en las regiones tropicales durante todo el año y es muy importante para el desarrollo económico de muchos países en desarrollo (Shiguano, 2019).

La producción del plátano en el Ecuador tiene una gran importancia social y económica, debido a que es uno de los principales productos en la dieta de los ecuatorianos, así como uno de mayor exportación en el país. (Exbanlight, 2019)

3.5.1. Taxonomía

Tabla 3

Taxonomía de la planta de plátano

| |
|---------------------------------------|
| Reino: <i>Plantae</i> |
| División: <i>Magnoliophyta</i> |
| Clase: <i>Liliopsida</i> |
| Orden: <i>Zingiberales</i> |
| Familia: <i>Musaceae</i> |
| Género: <i>Musa</i> |

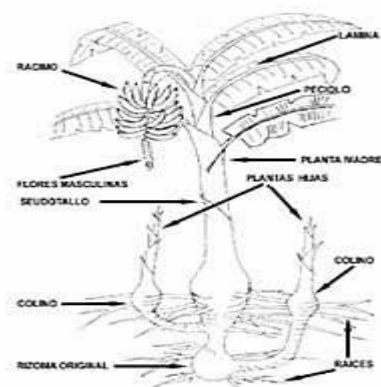
Especie: *M. paradisiaca*

Nota En la tabla se detalla la taxonomía del plátano: Tomado de Freire, 2018

3.5.2. MORFOLOGÍA DEL PLÁTANO

Figura 2

Estructura de la planta del plátano



Nota: Tomado de Infagron

Rizoma o bulbo: tallo subterráneo con numerosos puntos de crecimiento (meristemos) que dan origen a pseudotallos, raíces y yemas vegetativas. (INFAGRON, s.f.).

Sistema radicular: posee raíces superficiales distribuidas en una capa de 30 a 40 cm, las raíces son de color blanco, tiernas cuando emergen y amarillentas y duras posteriormente. Su diámetro oscila entre 5 y 8 mm y su longitud puede alcanzar los 2,5-3 m en crecimiento lateral y hasta 1,5 m en profundidad (INFAGRON, s.f.).

Tallo: formado por la disposición imbricada de las vainas dispuestas en forma alternada y helicoidea. (Freire M. , 2018).

Hojas: están compuestas por vaina, lámina y peciolo, poseen diferentes formas y tamaños e indican las etapas morfológicas de la planta (Freire M. , 2018).

Inflorescencia: dispuesta en forma de racimo. Contiene las flores femeninas y masculinas. (Freire M. , 2018).

Fruto: el fruto se desarrolla en los ovarios de las flores por el aumento de las tres celdas del ovario, los ovarios abortan y salen al mismo tiempo los tejidos del pericarpio cáscara y engrosan. (Freire M. , 2018).

3.5.3. *Requerimientos edafoclimáticos*

Clima: El banano exige un clima cálido y húmedo, necesita una temperatura media de 26-27 °C, con lluvias prolongadas y distribuidas regularmente. Con una latitud de 30 a 31° norte o sur y de los 1 a los 2 m de altitud. El crecimiento se detiene en temperaturas a 18 °C, produciéndose daños a temperaturas menores de 13 °C y mayores a 45 °C. (INFAGRON, s.f.).

Suelos: Los suelos aptos para el desarrollo del cultivo del banano son aquellos que presentan texturas franco arenoso, franco arcilloso, franco arcilla limosa, bien drenados, fertilizados, y de profundidad de 1.2-1.5 m, ricos en nitrógeno, con un pH entre 4.5-8, y con una pendiente de 0-1%. (Freire M. , 2018).

Propagación: El banano es incapaz de producir semillas viables por lo que solo es posible su reproducción a través de la propagación vegetativa o asexual, por lo tanto, la semilla de la planta son partes de esta, tales como retoños y cormos o hijos, que una vez separados de la planta madre, pueden realizar el ciclo de crecimiento y producción. (Freire M. , 2018).

3.5.4. *Cáscara de plátano*

La composición varía dependiendo del origen del producto, es abundante en material celulósico y representa alrededor del 40% de su peso. El contenido de almidón del plátano es

aproximadamente de 70-80% en base seca, mientras que su piel puede contener hasta el 50% (Freire M. , 2018).

En el plátano maduro se produce el rompimiento del almidón en azúcares, mientras que el plátano verde tiene más almidón (Shiguano, 2019). El almidón que contiene el plátano ha sido de gran utilidad en las investigaciones para el tratamiento de agua, debido a que su eficacia en la eliminación de compuestos orgánicos, su eficiencia aumenta cuando se lo combina con coagulantes químicos, donde se obtuvo una remoción del 90 y 94 %, con la combinación de 50% de almidón de plátano y 50 % de sulfato de aluminio (Trujillo et al 2014).

Existen transformaciones que se le puede someter al almidón para mejorar su eficiencia en el tratamiento de agua. Estos se dividen en tres procesos:

- **Gelatinización:** este proceso se da a altas temperaturas (60-70 °C), es irreversible, los gránulos de almidón se unen en una red polimétrica, donde se hinchan por la temperatura y luego da paso a la deformación y destrucción del gránulo en conjunto con la solubilización de su composición química (Freire M. , 2018).
- **Gelificación:** son los cambios de los gránulos por calor en medio acuoso, en este proceso es esencial la presencia de amilosa ya que esta sustancia es la que se va a solubilizar en el agua y provocar el hinchamiento de los gránulos, y formar una pasta de almidón con alta viscosidad, al someterlo por más tiempo al calor, se producirá la fragmentación de, los gránulos y la disminución de la viscosidad para dar paso a la formación del gel o gelificación (Freire M. , 2018).
- **Retrogradación:** se requiere calentar una solución de amilosa y seguidamente enfriarla para la formación de un gel rígido y reversible, también se puede realizar una ruta lenta donde la solución es diluida, se torna opaca y tiene un proceso lento de enfriamiento.

Este proceso cambiará dependiendo al contenido de amilosa que contenga el almidón (Freire M. , 2018).

La cascara de plátano es rica en proteína, fibra dietética, ácidos grasos, aminoácidos esenciales (histinina, treonina, arginina, valina, leucina, lisina, fenil alanina, entre otros) y no esenciales (ácido aspártico, ácido glutámico, serina, glicina, alanine, tirosina), sustancias antioxidantes como la galocatequina y antimicrobianas (CARVAJAL SANTOS MARCELO NICOLAS, 2017). En relación a su composición físico-química contiene: 92% de humedad, 0,37% de calcio, 0,28% de fósforo, 17% de cenizas (Shiguano, 2019).

3.6.Tratamiento de coagulación-floculación

3.6.1. Coagulación

Es un proceso donde se da la formación de elementos gelatinosos por la introducción de coagulante al agua, con la aplicación de energía de mezclado, la cual desequilibra a los elementos en suspensión mediante la compensación de las cargas coloidales. Es uno de los tratamientos más efectivos, sin embargo, una mala dosificación del coagulante puede provocar una disminución en la calidad del agua. Es decir, si se añade poco coagulante no se formarán micro flóculos y la turbidez del agua será elevada por un desequilibrio completo de la carga de la partícula, por el contrario, si se coloca exceso de coagulante se formarán micro flóculos en gran cantidad, pero de tamaño muy pequeño no dando paso a la sedimentación, por lo cual la turbidez aumentará (Shiguano, 2019).

3.6.2. Mecanismo de coagulación

Los coagulantes se originan de cuatro mecanismos de desestabilización:

- Comprensión de la capa difusa

- Adsorción para producir la neutralización de la carga
- Inmersión dentro de un precipitado
- Adsorción que permita un enlace tipo puente entre partículas (Rudy Solis, 2012)

3.6.3. *Floculación*

Es un proceso posterior a la coagulación se basa en la agitación lenta de la masa coagulada lo cual incrementa la aglomeración de los flóculos, incrementando su tamaño y peso y facilitando su sedimentación. La función del floculante es formar un puente entre las partículas de coloides, y así lograr la formación de grandes flóculos de gran peso y lograr la sedimentación (Shiguano, 2019). Existen dos tipos de floculación:

Peri cinética: Se forma por el movimiento natural del agua, impulsado por energía térmica (Shiguano, 2019).

Orto cinética: Inducida por energía externa (mecánica o hidráulica) y se forma por la colisión de las partículas debido al movimiento del agua (Shiguano, 2019).

3.7. **Biocoagulantes**

La preferencia en el uso bio coagulantes obtenidos de microorganismos, tejidos de plantas o animales se debe a su biodegradabilidad y que son libres de toxinas. Sus componentes son principalmente las proteínas, polisacáridos, mucilagos, taninos, almidones, alcaloides, son solubles en agua, por lo que se utilizan en el tratamiento de aguas residuales, para potabilización de agua, eliminación de sólidos suspendidos; los lodos generados de este tratamiento son menos contaminantes y se los puede aprovechar como biosólidos (Shiguano, 2019).

En el siguiente cuadro se explican las ventajas y desventajas de los coagulantes naturales.

Tabla 4

Ventajas y desventajas de los coagulantes naturales

| <i>VENTAJAS</i> | <i>DESVENTAJAS</i> |
|--|---|
| Los coagulantes a base de plantas son seguros ecológicos y libres de toxinas | Mayor remoción de turbiedad con la combinación de un coagulante químico |
| La generación de lodos puede tener hasta cinco veces menor volumen | Variación de pruebas para obtener dosis óptima. |
| Es un tratamiento económico | |
| No necesita ajuste de pH y alcalinidad | |
| Non son corrosivos por lo tanto no causa erosiones de la tubería | |

Nota: En la tabla se describe las ventajas y desventajas de los biocoagulantes. Adaptado de Choy et al., 2014

3.8.Prueba de jarras

Es un método usado para la determinación de la dosis de sustancias en el agua con partículas suspendidas de difícil sedimentación, en esta técnica el pH, temperatura, tiempo de sedimentación, concentración de coagulante, velocidad de sedimentación, están ligados en la remoción de partículas dando una optimización y rendimiento máximo. Conocer la velocidad de sedimentación permite diseñar tanques de sedimentación y conocer el potencial del agua cruda para la filtración directa. (Almea, 2017).

La prueba de jarras es importante para el control de procesos de coagulación química de aguas, este proceso requiere como datos previos valores de pH, turbidez, color y alcalinidad del agua. En la prueba de jarras se utiliza variación de dosis de coagulante y floculantes en cada jarra dando la disminución de coloides y materia orgánica suspendida además permite realizar el ajuste en el pH de cada muestra hasta llegar a los valores en los que el tratamiento de

floculación y coagulación alcanza sus mejores resultados, lo cual dependerá del tipo de reactivo a utilizar, se maneja generalmente un pH que oscila entre 7,3 a 7.6 (Fúquene, 2019).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación, se detallan los materiales y métodos utilizados para el trabajo de investigación

4.1.Materiales

Se utilizaron materiales y equipos necesarios para poder determinar tanto parámetros físicos como parámetros químicos.

Tabla 5

Materiales, equipos y reactivos

| MATERIALES | EQUIPOS | REACTIVOS |
|--------------------------|-----------------------|---------------------------------------|
| Vaso de precipitación | Estufa | Reactivos para DQO |
| Tubos de ensayo | Reactor Hanna | Reactivos para tensoactivos aniónicos |
| Balanza | pH metro | Solución madre |
| Trituradora de alimentos | Espectrofotómetro | |
| Canecas de 4 litros | Equipo para prueba de | |
| Frascos Winkler | jarras. | |
| Matraz Aforado | Oxidímetro | |
| Agitador magnético | | |
| Frascos Winkler | | |

Nota: En la tabla se detalla todos los materiales, equipos y reactivos que se utilizaron.

4.2.Métodos

El diseño de estudio es una investigación cuantitativa de nivel experimental, el tiempo de recolección de información es secuencial, en donde se desea especificar las dosis óptimas de

un biopolímero de cáscara de plátano para determinar la remoción de la DQO y tensoactivos de una muestra de agua residual tomada.

4.3. Lugar de muestreo

El muestreo se lo realizó en la quebrada ubicada en el parque Las Cuadras, en la parroquia Chillogallo al sur de la Ciudad de Quito, en el cantón Quito. Se eligió este lugar como punto de muestreo debido a que a esta quebrada llegan las descargas de agua residual provenientes de diferentes barrios del sur de la ciudad (Corral, 2016). También cabe mencionar que el Departamento de Tratamiento de Aguas Residuales de la EPMAPS indicó que el agua residual tiene las mismas características en la entrada de las PTARs como en alcantarillas y quebradas de todo el DMQ (Corral, 2016).

4.3.1. *Parque lineal las cuadras*

El parque lineal las cuadras, además de ofrecer a sus visitantes muchas actividades recreativas y espacios amplios para su recreación, cuenta con un tramo del río Machángara, que atraviesa el parque en el sector suroeste del mismo, con una longitud de 500 metros. El caudal del tramo analizado transita por colmada vegetación endémica de la ciudad de Quito.

El recorrido de este caudal concluye en una segunda estructura de hormigón en forma de túnel. (Corral, 2016).

Figura 3

Parque lineal las cuadras



Nota: Ubicación del parque lineal las cuadras en el DMQ. Elaborado por Mendoza N. & Santana F.

4.3.2. Toma de muestras

Se realizó la recolección y conservación de las muestras basada en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2 169:98, que establece las técnicas y precauciones generales que se deben tomar para conservar y transportar todo tipo de muestras de agua para análisis. Se aplicará el método de muestreo simple en recipientes de plástico respectivamente rotulados y almacenados para el transporte y posterior análisis en los laboratorios. Se tomó una muestra de 120 litros de agua y se transportó al laboratorio de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la UPS campus Sur.

4.4.Caracterización fisicoquímica del agua residual muestreada

4.4.1. *Parámetros físicos*

4.4.1.1.Determinación del pH

La medición de pH se realizó en función del método potenciométrico (Standar Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th edition 4500-H+ pH) que consiste en la utilización de sondas potenciométricas con un rango de medición de 2-16 (SAE, 2019).

4.4.2. *Parámetros químicos*

4.4.2.1.Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

La medición de la DQO, se la realizó en función del método de espectrofotometría (Standard Methods, Examination of Water and Wastewater, 23th edition. 2017 5220 C.), basado en la concentración de Cromo (III) en rangos de 4 – 10 000 mg/L, tras la oxidación de dicromato de potasio, en presencia de ácido sulfúrico y sulfato de plata (SAE, 2019).

Para la determinación de DQO se utilizó los siguientes equipos:

- Tubos de ensayo
- Gotero
- Reactor Hanna
- Espectrofotómetro UV-Vis.

4.4.2.2.Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

La medición de la DBO, se la realizó en función de la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1202: 2013, basado en el método de determinación de Winkler que mide el oxígeno requerido

por los organismos en sus procesos metabólicos al consumir la materia orgánica presente en las aguas residuales o naturales, en un periodo de incubación de 5 días (SAE, 2019).

Los equipos y materiales usados para determinar la DBO fueron los siguientes:

- Frascos Winkler
- Mufla
- Equipo para medir Oxígeno disuelto

4.4.2.3.Determinación del tipo de tensoactivos

La determinación del tipo de tensoactivos se lo realizó en función del método SAAM (Sustancias Activas al Azul de Metileno) (Standard Methods, Examination of Water and Wastewater, 23th edition. 2017 5540 C) donde se realiza la coloración de tensoactivos aniónicos que muestran gran actividad al azul de metileno. Para la medición se utilizó un espectrofotómetro en un rango de medición de 0,01- 2,92 mg/L. (SAE, 2019).

4.5. Obtención del biopolímero

Para la obtención del biopolímero se realizó el siguiente procedimiento:

Selección de las cáscaras: Se procedió a seleccionar un total de 1,33 kg de cáscara de plátano, desechando las que se encontraban en mal estado.

Lavado: Con agua y la ayuda de un cepillo se realizó la limpieza de las cáscaras de plátano para eliminar cualquier impureza que pudiera contener.

Reducción de tamaño: Una vez ya terminado el lavado de las cáscaras de plátano se utilizó una trituradora de alimentos para reducir su tamaño y disminuir el tiempo de secado en la mufla.

Secado: Se secó la cáscara de plátano en la estufa durante 8 horas a una temperatura de 130 °C.

Triturado: Se trituró la cáscara seca hasta obtener un polvo fino.

Tamizado: Se tamizó el biopolímero triturado para eliminar grumos, por lo cual se le pasó por los tamices de 1 mm, 500 micras, 250 micras, 150 micras, 63 micras, 53 micras y 38 micras. Con un tamaño de partícula de 0,0420 mm.

La cantidad total de biopolímero que se obtuvo al finalizar el proceso fue de 122,2 gramos, ver registro fotográfico en el Anexo 1.

4.6. Determinación de la dosis óptima

Para determinar la dosis óptima de biopolímero, se realizó un proceso de coagulación-floculación con el método de la prueba de jarras. Donde se añadió las diferentes concentraciones de biopolímero en los recipientes junto con 1 litro de agua residual, con un tiempo de mezcla de 10 minutos. Una vez concluido el tiempo de mezcla se procedió a realizar la prueba de jarras donde primero se agitó a 100 rpm por 1 minuto, después se redujo la agitación a 30 rpm durante 20 minutos (Freire, 2018).

Por último, se apagó los agitadores y se dejó reposar 120 minutos, una vez pasados los 120 minutos se procedió a realizar mediciones y pruebas de eficiencia parcial a los 30, 60 y 90 minutos para determinar la dosis óptima (Freire, 2018). Ver Anexo 3

Para la determinación de la dosis óptima de la concentración se tomó 5 concentraciones de biopolímero, luego se analizó la concentración que obtuvo mejores resultados y se realizó una reducción de esa concentración, obteniendo 5 nuevas concentraciones. Después se volvió a analizar la concentración que obtuvo mejores resultados y se volvió a reducir la concentración obteniendo 5 nuevas concentraciones por una última vez. (Ver Tabla 6).

Tabla 6

Concentraciones determinadas en la prueba de jarra

| CONCENTRACIÓN INICIAL (mg/L) | REDUCCIÓN 1 (mg/L) | REDUCCIÓN 2 (mg/L) |
|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 100 | 252 | 254,2 |
| 250 | 254 | 254,4 |
| 500 | 256 | 254,6 |
| 750 | 258 | 254,8 |
| 1000 | 260 | 255,0 |

Nota: En la tabla se detalla las concentraciones óptimas determinadas en la prueba de jarras. Elaborado por Mendoza. N y Santana. F (2021)

4.7. Análisis estadístico

El análisis estadístico que se utilizó es un Diseño Completamente al Azar (DCA) con tres tratamientos de diferente concentración de biopolímero (c_1 , c_2 , c_3) y tres datos por cada variable a evaluar (D_1 , D_2 , D_3), donde las variables que fueron evaluadas son la remoción de DQO y los tensoactivos presentes en el agua residual muestreada. También se usó la prueba de Tukey y el software InfoStat para poder terminar de afianzar los resultados.

Tabla 7

Matriz experimental con la variable DQO

| TRATAMIENTOS | DQO REPETICIONES | | |
|---------------|---------------------|-------|-------|
| | D_1 | D_2 | D_3 |
| Tratamiento 1 | c_1 | | |
| Tratamiento 2 | c_2 | | |
| Tratamiento 3 | c_3 | | |

Nota: En esta tabla se describe los tratamientos y el número de datos a utilizar en el análisis estadístico para la variable DQO. Elaborado por: Mendoza. N & Santana. F (2021).

Tabla 8

Matriz experimental con la variable Tensoactivos

| TRATAMIENTOS | TENSOACTIVOS REPETICIONES | | |
|---------------|------------------------------|-------|-------|
| | D_1 | D_2 | D_3 |
| Tratamiento 1 | c_1 | | |
| Tratamiento 2 | c_2 | | |
| Tratamiento 3 | c_3 | | |

Nota: En esta tabla se describe los tratamientos y el número de datos a utilizar en el análisis estadístico para la variable Tensoactivos. Elaborado por: Mendoza. N & Santana. F (2021).

4.7.1. Porcentaje de remoción

El porcentaje de remoción es la cantidad de materia orgánica que fue removida por el biopolímero en el proceso de la prueba de jarras y se lo detalla a continuación:

Ecuación 1

Cálculo del porcentaje de remoción.

$$\%n = \frac{C_o - C_I}{C_o} * 100$$

Donde:

Co: Concentración inicial de DQO, Tensoactivos y DBO₅

CI: Concentración final de DQO, Tensoactivos y DBO₅

4.8. Modelo estadístico

El modelo que se utilizó fue un modelo estadístico lineal como se detalla a continuación:

Ecuación 2

Modelo estadístico.

$$Y_{ij} = u + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

$$\begin{cases} i = 1,2,3 \\ j = 1,2,3 \end{cases}$$

Donde:

Y_{ij}: concentración de DQO y tensoactivos removidos en ij-ésima unidad experimental

u: media general de DQO y tensoactivos

τ: efecto de las concentraciones de biopolímero sobre las concentraciones de DQO y

Tensoactivos removidos

ε_{ij}: error experimental asociado a la ij-ésima unidad experimental

4.8.1. Hipótesis

Hipótesis nula (H₀): Existe una concentración para remover concentraciones de DQO y tensoactivos.

Hipótesis alterna (Ha): No existe una concentración óptima para remover concentraciones de DQO y tensoactivos.

Se consideró el nivel de significación de (0,05) para determinar la significancia de los tratamientos. Donde si el valor obtenido es mayor a 0,05 se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna, mientras que cuando el valor obtenido es menor a 0,05 se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna. Se determinó que cuando se acepta la hipótesis nula no existen diferencias significativas entre los tratamientos.

4.8.2. . Análisis de varianza ANOVA

En la siguiente tabla se detalla los pasos para completar la tabla ANOVA.

Tabla 9

Tabla ANOVA

| Fuente de Varianza | Grados de libertad | Sumas de Cuadrados | Cuadrados Medios | F_{exp} | Valor crítico F_{α} |
|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------------|--|----------------------------|
| Tratamientos | I-1 | SC_{trat} | $\frac{SC_{trat}}{I - 1}$ | $\frac{SC_{trat}}{I - 1} \cdot \frac{SC_{error}}{N - I}$ | |
| Error Experimental | N-I | SC_{error} | $\frac{SC_{error}}{N - I}$ | | |
| Total | N-1 | SC_{total} | $\frac{SC_{total}}{N - 1}$ | | |

Nota: Aceptar H_0 si $F_{exp} \leq F_{\alpha}$; Rechazar H_0 si $F_{exp} \geq F_{\alpha}$

Ecuación 3

Suma de cuadrados de tratamientos.

$$SC_{trat} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{n_i} y^2_{ij} - \frac{y^2}{N}$$

Ecuación 4

Suma de cuadrados total.

$$SC_{total} = \sum_{i=1}^I \frac{y^2_i}{n_i} - \frac{y^2_{..}}{N}$$

Ecuación 5

Suma de cuadrados del error.

$$SC_{error} = SC_{total} - SC_{trat}$$

Donde:

N: número total de datos

I: número de tratamientos

SC_{trat}: Suma de cuadrados entre tratamientos

SC_{error}: Suma de cuadrados del error experimental

SC_{total}: Suma de cuadrados total

4.8.3. *Coefficiente de determinación*

Ecuación 6

Coefficiente de determinación.

$$R^2 = \frac{SC_{error}}{SC_{total}}$$

El coeficiente de determinación (R^2) es la proporción de la variabilidad total presente en los datos que es explicada por el modelo de análisis de la varianza.

Fuente: (Porrás, 2001)

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1.Resultados

Se realizó el análisis del agua residual para determinar la dosis óptima de concentración de biopolímero. Donde se ejecutó la prueba de eficiencia parcial a los 30, 60 y 90 minutos de la fase de sedimentación de la prueba de jarras. (Ver Anexo 3).

5.1.1. *Análisis de parámetros físicos*

Se realizó el análisis de pH, temperatura y conductividad únicamente con las primeras cinco concentraciones y a los 120 minutos de sedimentación. Donde se determinó que todas las concentraciones superaron el valor inicial de pH de 7,02. La temperatura disminuyó con la concentración de 100 mg/L con un valor de 16,5° C en comparación con el valor inicial de 17,4 °C. La conductividad presentó un valor inicial de 632 ms/cm y no presentó ninguna disminución con ninguna de las cinco concentraciones. Todos los parámetros antes mencionados se los puede ver en la Tabla 10. Los parámetros físicos no se lo realizo en situ debido a que los equipos de medición de la universidad no podían ser sacados del establecimiento, sin embargo, la medición de estos parámetros se lo realizó lo más rápido posible después del muestreo en los laboratorios de la universidad.

Tabla 10

Parámetros iniciales del agua residual muestreada

| pH | Temperatura (°C) | Conductividad (ms/cm) |
|-----------|-----------------------------|----------------------------------|
| 7,02 | 17,4 | 632 |

Tabla 11*Análisis de los parámetros físicos*

| Concentración (mg/L) | pH | Temperatura (°C) | Conductividad (ms/cm) |
|---------------------------------|-----------|-----------------------------|----------------------------------|
| 0 | 7,02 | 17,4 | 632 |
| 100 | 7,43 | 16,5 | 719 |
| 250 | 7,29 | 16,6 | 718 |
| 500 | 7,12 | 16,8 | 743 |
| 750 | 7,08 | 16,8 | 766 |
| 1000 | 7,07 | 17,1 | 808 |

Nota: Se realizó el análisis de pH, temperatura y conductividad con concentraciones de biopolímero de 0 a 1000 mg/L. Elaborado por: Mendoza. N y Santana. F (2021)

5.1.2. Análisis de DQO

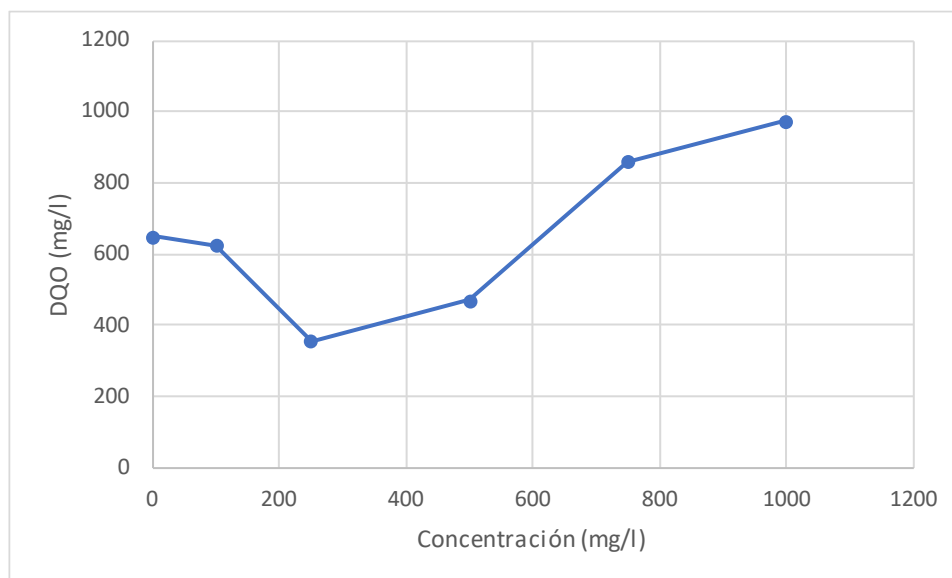
El análisis de DQO inicial dio un valor de 630 mg/L. Se realizó las pruebas de eficiencia parcial a los 30, 60 y 90 minutos de sedimentación donde se determinó que la primera concentración óptima de biopolímero fue de 250 mg/L. (Ver Tabla 11) (Ver Tabla 12). (Ver Tabla 13).

Tabla 12*Prueba de eficiencia parcial a los 30 minutos.*

| Concentración (mg/L) | DQO (mg/L) |
|---------------------------------|-------------------|
| 0 | 650 |
| 100 | 625 |
| 250 | 355 |
| 500 | 472 |
| 750 | 860 |
| 1000 | 974 |

Nota: En la tabla se puede observar los valores de DQO con la concentración inicial de biopolímero a los 30 minutos de eficiencia parcial. Elaborado por: Mendoza. N y Santana. F (2021)

Figura 4 Gráfico de la variación de concentración de DQO en el primer rango de concentración a los 30 minutos de eficiencia.



Nota: En el gráfico se puede observar la variación de la concentración de DQO con respecto a la concentración con la concentración inicial de biopolímero a los 30 minutos de eficiencia parcial. Elaborado por: Mendoza. N y Santana. F (2021).

Tabla 13

Prueba de eficiencia parcial a los 60 min

| Concentración (mg/L) | DQO (mg/L) |
|-------------------------|---------------|
| 0 | 650 |
| 100 | 524 |
| 250 | 391 |
| 500 | 488 |
| 750 | 429 |
| 1000 | 821 |

Nota: En la tabla se puede observar los valores de DQO en el primer rango de biopolímero a los 60 minutos de eficiencia parcial. Elaborado por: Mendoza. N y Santana. F (2021)

Tabla 14

Prueba de eficiencia parcial a los 90 min

| Concentración (mg/L) | DQO (mg/L) |
|-------------------------|------------|
| 0 | 650 |
| 100 | 520 |
| 250 | 349 |
| 500 | 451 |
| 750 | 827 |

| Concentración (mg/L) | DQO (mg/L) |
|---------------------------------|-------------------|
| 1000 | 814 |

Nota: En la tabla se puede observar los valores de DQO en la concentración inicial de biopolímero a los 90 minutos de eficiencia parcial. Elaborado por: Mendoza. N y Santana. F (2021).

La primera reducción de concentración fue en el rango entre 250 y 260 mg/L de igual manera se realizó las pruebas de eficiencia parcial a los 30, 60 y 90 minutos, donde se determinó que la segunda concentración óptima fue de 254 mg/L. (Ver Tabla 14) (Ver Tabla 15) (Ver Tabla 16).

Tabla 15

Prueba de eficiencia parcial a los 30 min en el segundo rango de concentraciones.

| Concentración (mg/L) | DQO (mg/L) |
|---------------------------------|-------------------|
| 252 | 478 |
| 254 | 445 |
| 256 | 1333 |
| 258 | 804 |
| 260 | 856 |

Nota: En la tabla se observa los valores de DQO en segundo rango de concentraciones a los 30 minutos de eficiencia parcial. Elaborado por: Mendoza. N y Santana. F (2021).

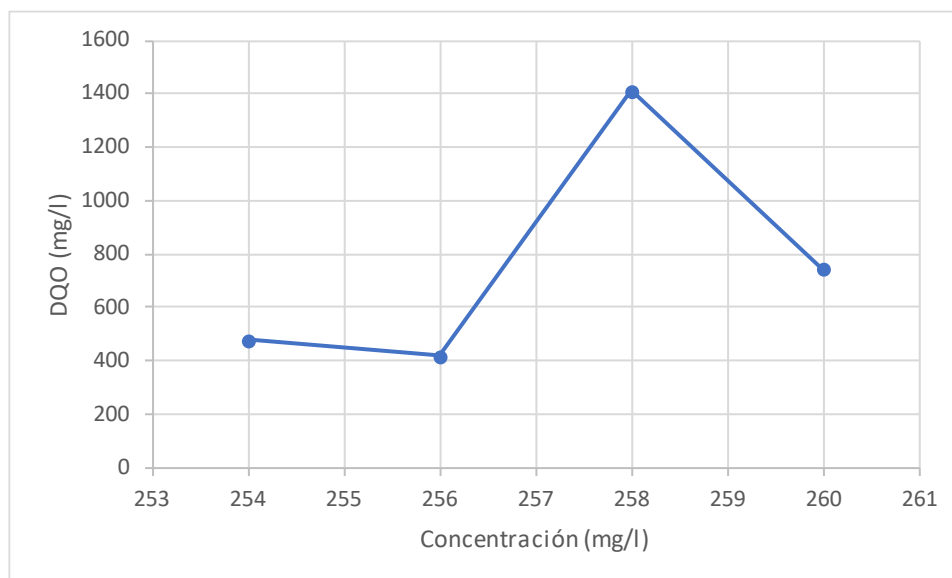
Tabla 16

Prueba de eficiencia parcial a los 60 min en el segundo de concentraciones.

| Concentración (mg/L) | DQO (mg/L) |
|---------------------------------|-------------------|
| 252 | 478 |
| 254 | 420 |
| 256 | 1412 |
| 258 | 742 |
| 260 | 798 |

Nota: En la tabla se observa los valores de DQO en segundo rango de concentraciones a los 60 minutos de eficiencia parcial. Elaborado por: Mendoza. N y Santana. F (2021).

Figura 5 Gráfico de la variación de concentración de DQO en el segundo rango de concentraciones a los 60 min de eficiencia parcial.



Nota: En el gráfico se puede observar la variación de DQO con respecto a la concentración en la primera reducción de concentración. Elaborado por: Mendoza. N y Santana. F (2021).

Tabla 17

Prueba de eficiencia parcial a los 90 min en el segundo rango de concentraciones.

| Concentración (mg/L) | DQO (mg/L) |
|----------------------|------------|
| 252 | 524 |
| 254 | 434 |
| 256 | 1111 |
| 258 | 783 |
| 260 | 876 |

Nota: En la tabla se puede observar los valores de DQO en el segundo rango de concentraciones a los 90 minutos de eficiencia parcial. Elaborado por: Mendoza. N y Santana. F (2021).

El tercer rango de concentraciones fue entre 254 y 265 mg/L, de igual manera se realizó las pruebas de eficiencia parcial a los 30, 60 y 90 minutos, donde se determinó que la segunda concentración óptima fue de 254,6 mg/L. (Ver Tabla 17) (Ver Tabla 18) (Ver Tabla 19).

Tabla 18

Prueba de eficiencia parcial a los 30 min en el tercer rango de concentraciones.

| Concentración (mg/L) | DQO (mg/L) |
|----------------------|------------|
|----------------------|------------|

| | |
|-------|------|
| 254,2 | 371 |
| 254,4 | 409 |
| 254,6 | 346 |
| 254,8 | 1091 |
| 255 | 420 |

Nota: En la tabla se observa los valores de DQO en el tercer rango de concentraciones a los 30 minutos de eficiencia parcial. Elaborado por: Mendoza. N y Santana. F (2021).

Tabla 19

Prueba de eficiencia parcial a los 60 min en el tercer rango de concentraciones.

| Concentración (mg/L) | DQO (mg/L) |
|---------------------------------|-------------------|
| 254,2 | 366 |
| 254,4 | 419 |
| 254,6 | 360 |
| 254,8 | 1077 |
| 255 | 415 |

Nota: En la tabla se puede observar los valores de DQO en el tercer rango de concentraciones a los 60 minutos de eficiencia parcial. Elaborado por: Mendoza. N y Santana. F (2021).

Tabla 20

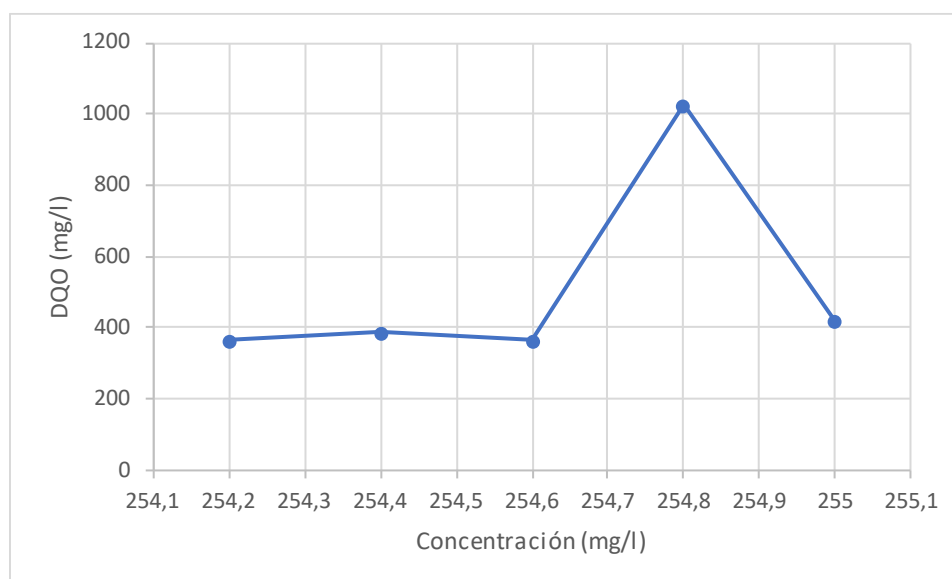
Prueba de eficiencia parcial a los 90 min en el tercer rango de concentraciones.

| Concentración (mg/L) | DQO (mg/L) |
|---------------------------------|-------------------|
| 254,2 | 365 |
| 254,4 | 388 |
| 254,6 | 365 |
| 254,8 | 1025 |
| 255 | 417 |

Nota: En la tabla se puede observar los valores de DQO en el tercer rango de concentraciones a los 90 minutos de eficiencia parcial. Elaborado por: Mendoza. N y Santana. F (2021).

Figura 6

Gráfico de la variación de DQO en el tercer de concentración a los 90 min de eficiencia.



Nota: En el gráfico se puede observar la variación de los DQO con respecto a la concentración el tercer rango de concentraciones. Elaborado por: Mendoza. N y Santana. F (2021).

5.1.3. Análisis de Tensoactivos.

El análisis de Tensoactivos inicial dio un valor de 3,53 mg/L. Se realizó las pruebas de eficiencia parcial a los 30, 60 y 90 minutos de sedimentación con la primera concentración óptima de biopolímero, donde se observó que no existió disminución de la concentración de tensoactivos (Ver Tabla 20) (Ver Tabla 21). (Ver Tabla 22).

Tabla 21

Análisis de Tensoactivos en la prueba de eficiencia parcial a los 30 min.

| Concentración (mg/L) | Tensoactivos (mg/L) |
|-------------------------|------------------------|
| 0 | 3,53 |
| 100 | 4,25 |
| 250 | 6,33 |
| 500 | 6,46 |
| 750 | 5,84 |
| 1000 | 6,13 |

Nota: En la tabla se puede observar los valores de Tensoactivos a los 30 minutos de eficiencia parcial. Elaborado por: Mendoza. N y Santana. F (2021).

Tabla 22

Análisis de Tensoactivos en la prueba de eficiencia parcial a los 60 min.

| Concentración (mg/L) | Tensoactivos (mg/L) |
|---------------------------------|--------------------------------|
| 0 | 3,53 |
| 100 | 6,92 |
| 250 | 4,55 |
| 500 | 5,71 |
| 750 | 4,11 |
| 1000 | 6,06 |

Nota: En la tabla se puede observar los valores de Tensoactivos a los 60 minutos de eficiencia parcial. Elaborado por: Mendoza. N y Santana. F (2021).

Tabla 23

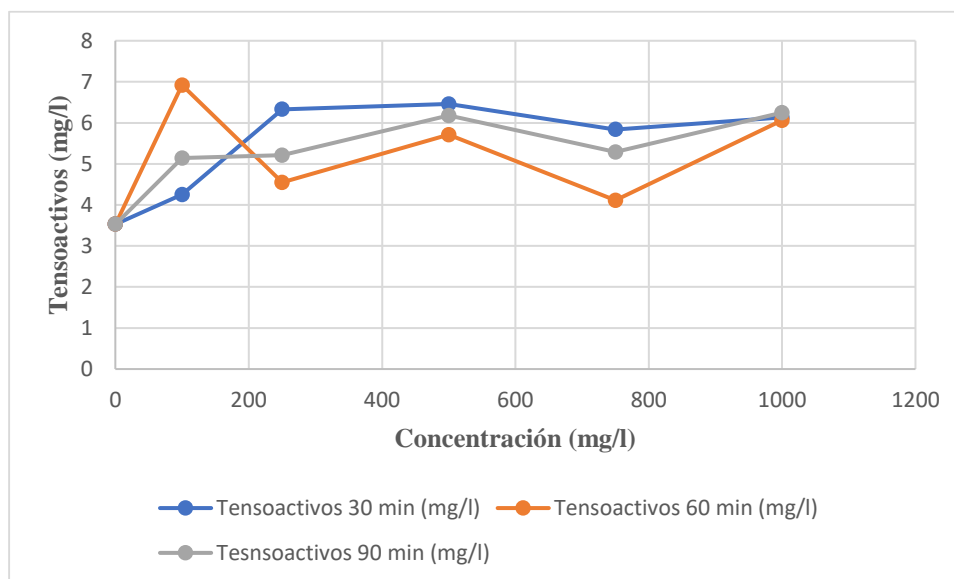
Análisis de Tensoactivos en la prueba de eficiencia parcial a los 90 min.

| Concentración (mg/L) | Tensoactivos (mg/L) |
|---------------------------------|--------------------------------|
| 0 | 3,53 |
| 100 | 5,14 |
| 250 | 5,21 |
| 500 | 6,18 |
| 750 | 5,29 |
| 1000 | 6,25 |

Nota: En la tabla se puede observar los valores de Tensoactivos a los 60 minutos de eficiencia parcial. Elaborado por: Mendoza. N y Santana. F (2021).

Figura 7

Gráfico de Tensoactivos a los 30, 60 y 90 min de eficiencia parcial.



Nota: En el gráfico se puede observar la variación de los tensoactivos con respecto a la concentración de biopolímero en los 30, 60, 90 minutos de eficiencia parcial. Elaborado por: Mendoza. N y Santana. F (2021).

5.1.4. Análisis de DBO.

El análisis de DBO_5 inicial dio un valor de 300 mg/L. Se realizó el análisis con las 5 primeras concentraciones donde se determinó que la primera concentración óptima de biopolímero fue de 100 mg/l. (Ver Tabla 23) (Ver Tabla 24). (Ver Tabla 25).

Tabla 24

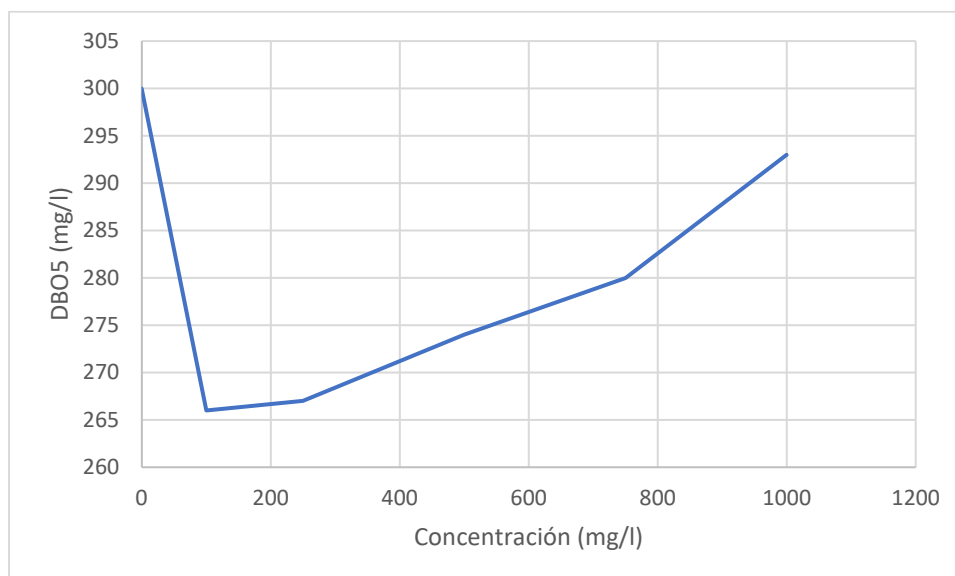
Primer análisis de DBO_5 en el rango de concentración de 100 y 1000 mg/l.

| Concentración (mg/L) | DBO_5 (mg/L) |
|----------------------|----------------|
| 0 | 300 |
| 100 | 266 |
| 250 | 267 |
| 500 | 274 |
| 750 | 280 |
| 1000 | 293 |

Nota: En la tabla se observa los valores de DBO_5 en el primer rango de concentraciones. Elaborado por: Mendoza. N y Santana. F (2021).

Figura 8

Gráfico de la remoción de DBO5 en el segundo rango de concentraciones.



Nota: En el gráfico se puede observar la variación de DBO5 con respecto a la concentración en el segundo rango de concentraciones. Elaborado por: Mendoza. N y Santana. F (2021).

El primer rango de concentraciones fue entre 100 y 1000 mg/L, donde se determinó que la concentración de biopolímero que presenta menos concentración de DBO₅ fue de 100 mg/L.

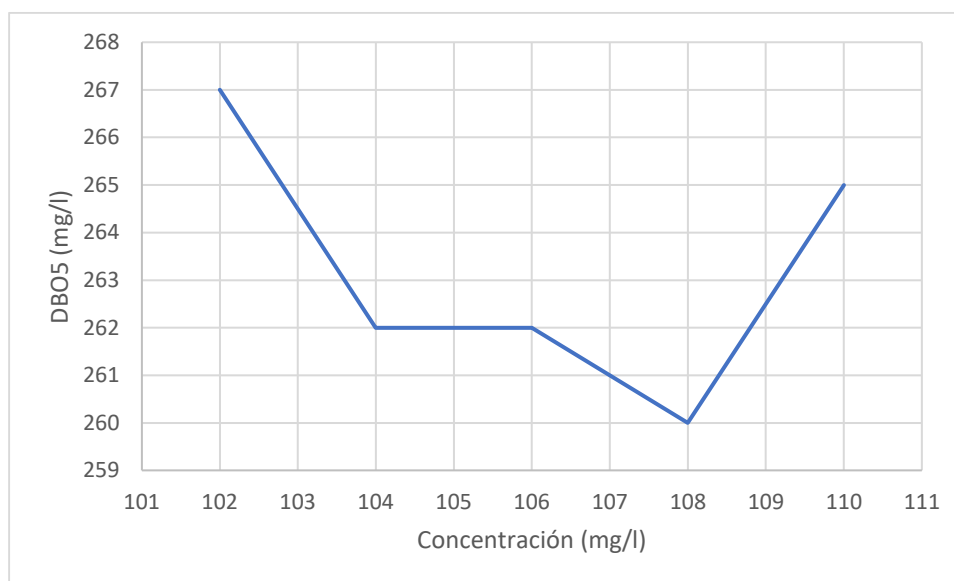
Tabla 25

Segundo análisis de DBO₅ en el rango de concentración de 102 y 110 mg/L.

| Concentración (mg/L) | DBO ₅ (mg/L) |
|----------------------|-------------------------|
| 102 | 267 |
| 104 | 262 |
| 106 | 262 |
| 108 | 260 |
| 110 | 265 |

Nota: En la tabla se puede observar los valores de DBO5 en el segundo rango de concentraciones. Elaborado por: Mendoza. N y Santana. F (2021).

Figura 9 Gráfico de la variación de DBO5 en el segundo rango de concentraciones.



Nota: En el gráfico se puede observar la variación de los DBO5 con respecto a la concentración en el tercer rango de concentraciones. Elaborado por: Mendoza. N y Santana. F (2021)

El segundo rango de concentraciones fue entre 102 y 110 mg/L, donde se determinó que la concentración de biopolímero que presenta menos concentración de DBO₅ fue de 108 mg/L.

Tabla 26

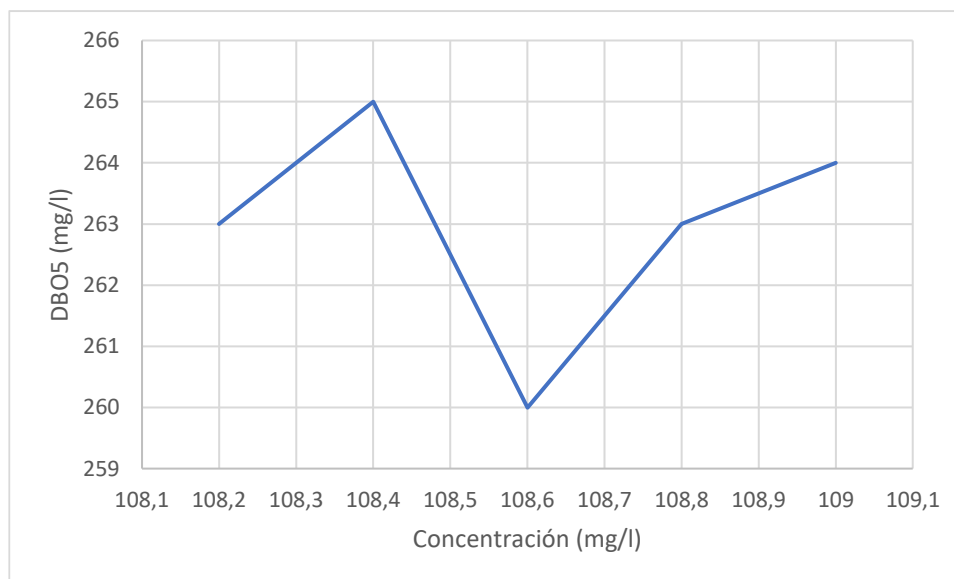
Tercer análisis de DBO₅ en el rango de concentración de 108 y 109 mg/L.

| Concentración (mg/L) | DBO ₅ (mg/L) |
|----------------------|-------------------------|
| 108,2 | 263 |
| 108,4 | 265 |
| 108,6 | 260 |
| 108,8 | 263 |
| 109 | 264 |

Nota: En la tabla se puede observar los valores de DBO5 en la segunda reducción de concentración. Elaborado por: Mendoza. N y Santana. F (2021).

Figura 10

Gráfico de la variación de DBO5 en la segunda reducción de concentración



Nota: En el gráfico se puede observar la variación de los DBO5 con respecto a la concentración en la tercera reducción de concentraciones. Elaborado por: Mendoza. N y Santana. F (2021).

5.1.5. Análisis Estadístico

Se realizó un Diseño Completamente al Azar con 3 diferentes concentraciones de biopolímero (c_1 , c_2 , c_3) y 3 datos. Con los resultados de análisis de DQO y Tensoactivos que se presentan a continuación se realiza un análisis de varianza y se efectúa una comparación con la prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad.

Los datos de DQO seguían una distribución normal en un 80% como se puede observar en la Figura 11.

Figura 11

Distribución normal DQO

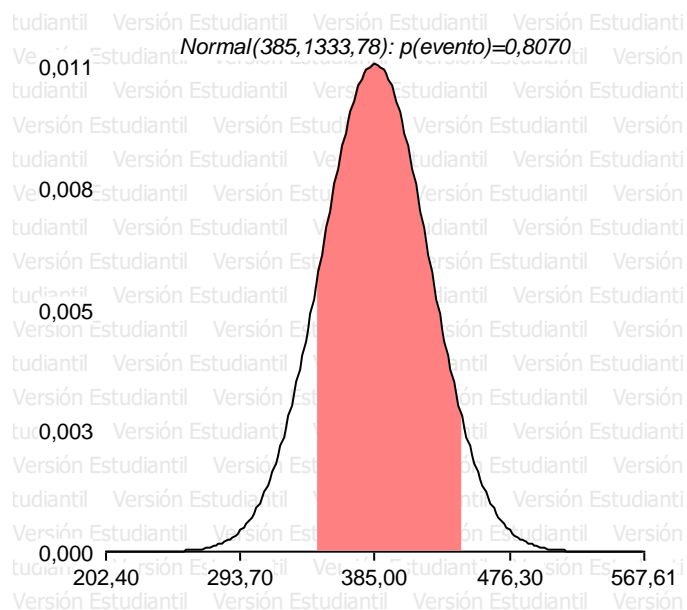


Tabla 27

Cuadro ANOVA DQO.

| CONCENTRACIÓN (mg/L) | DQO (mg/L) | | |
|-------------------------|------------|-----|-----|
| 250 | 355 | 391 | 349 |
| 254 | 445 | 420 | 434 |
| 256 | 346 | 360 | 365 |

Nota: En la siguiente tabla se encuentran los datos con los que realizará el análisis de varianza para la variable DQO. Elaborado por: Mendoza. N y Santana. F (2021).

El cuadro ANOVA dio como resultado un valor critico (p-valor) mayor al 0,05, lo que determina que la Hipótesis Nula (H_0): “Existe una concentración para remover concentraciones de DQO” se acepta y la Hipótesis Alterna (H_a): “No existe una concentración para remover concentraciones de DQO” se rechaza (Ver Tabla 27).

La prueba de Tukey determinó que la concentración de 254,6 mg/L obtuvo un rendimiento mayor para remover DQO, estadísticamente diferente que la concentración de 254. (Ver Figura 12)

Tabla 28

Cuadro de Análisis de Varianza de DQO y Test de Tukey al 0.05%.

Análisis de la varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|------------|---|----------------|-------------------|------|
| DQO (mg/l) | 9 | 0,87 | 0,83 | 4,16 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|----------------------|----------|----|---------|-------|---------|
| Modelo. | 10464,00 | 2 | 5232,00 | 20,38 | 0,5223 |
| Concentración (mg/l) | 10464,00 | 2 | 5232,00 | 20,38 | 0,5223 |
| Error | 1540,00 | 6 | 256,67 | | |
| Total | 12004,00 | 8 | | | |

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=40,13593

Error: 256,6667 gl: 6

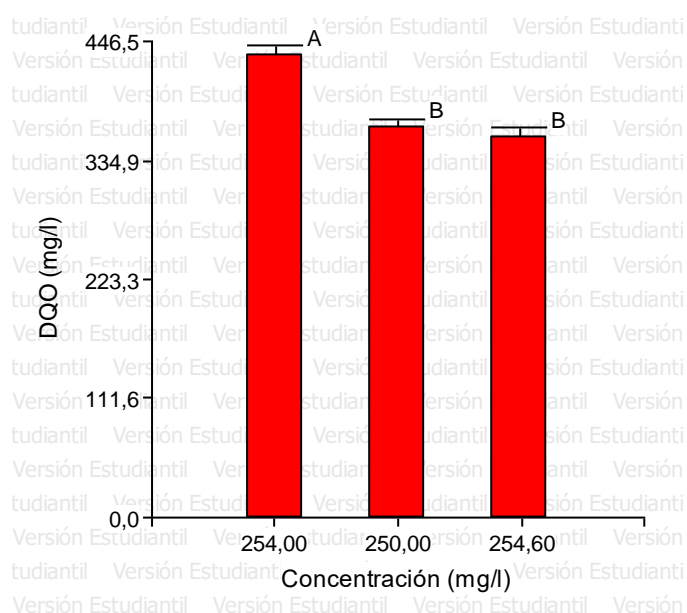
| Concentración (mg/l) | Medias | n | E.E. | |
|----------------------|--------|---|------|---|
| 254,00 | 433,00 | 3 | 9,25 | A |
| 250,00 | 365,00 | 3 | 9,25 | B |
| 254,60 | 357,00 | 3 | 9,25 | B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Nota: En la tabla se detalla los resultados del análisis de varianza y test de Tukey al 0,05% de probabilidad para la variable DQO.

Figura 12

Interpretación de la prueba de Tukey DQO



Los datos de Tensoactivos no seguían una distribución normal como se puede observar en la Figura 13.

Figura 13

Distribución normal DQO

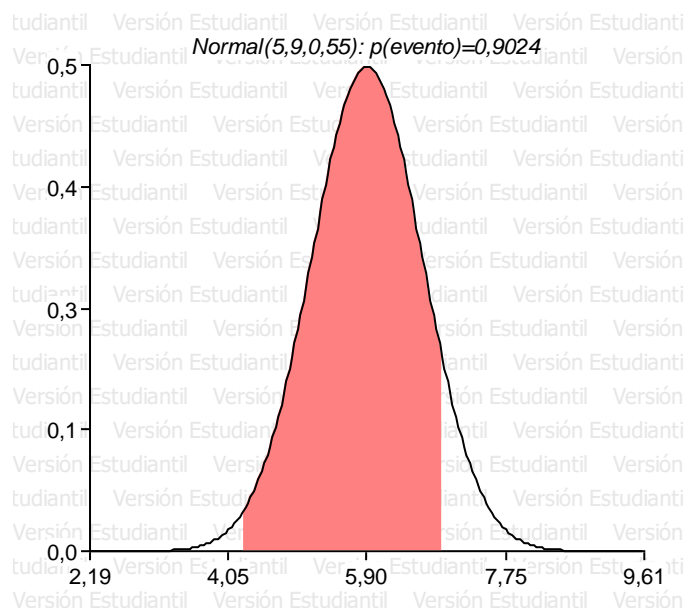


Tabla 29

Cuadro ANOVA Tensoactivos.

| CONCENTRACIÓN (mg/L) | TENSOACTIVOS (mg/L) | | |
|-------------------------|---------------------|------|------|
| 100 | 4,25 | 6,92 | 5,14 |
| 500 | 6,46 | 5,71 | 6,18 |
| 1000 | 6,25 | 6,06 | 6,13 |

Nota: En la siguiente tabla se encuentran los datos con los que realizará el análisis de varianza para la variable Tensoactivos. Elaborado por: Mendoza. N y Santana. F (2021).

El cuadro ANOVA dio como resultado un valor crítico (p-valor) menor al 0,05, lo que determina que la Hipótesis Nula (Ho): “Existe una concentración para remover concentraciones

de Tensoactivos” se rechaza y la Hipótesis Alternativa (Ha): “No existe una concentración para remover concentraciones de Tensoactivos” se acepta. (Ver Tabla 27).

La prueba de Tukey determinó que las 3 concentraciones de 100, 500, 1000 mg/L son estadísticamente iguales. (Ver Figura 14).

Tabla 30

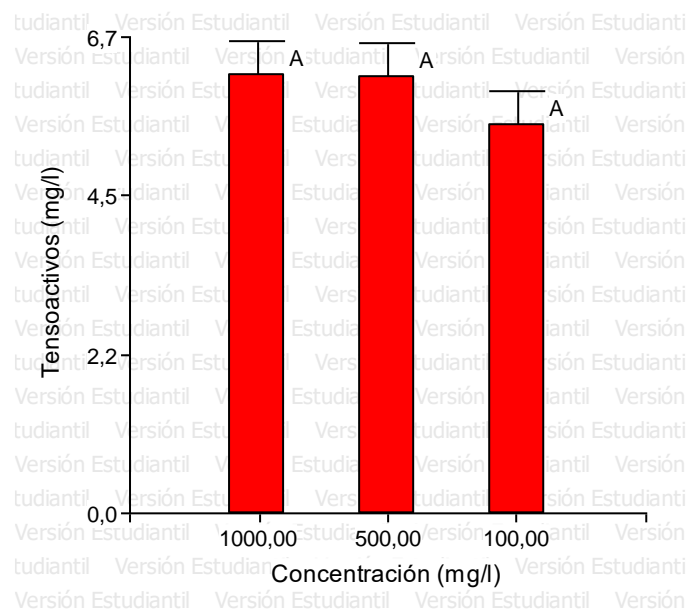
Cuadro de Análisis de Varianza de Tensoactivos y Test de Tukey al 0.05% .

| Análisis de la varianza | | | | | |
|--|--------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Tensoactivos (mg/L) | 9 | 0,19 | 0,00 | 13,84 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 0,97 | 2 | 0,48 | 0,73 | 0,0021 |
| Concentración (mg/L) | 0,97 | 2 | 0,48 | 0,73 | 0,0021 |
| Error | 4,00 | 6 | 0,67 | | |
| Total | 4,97 | 8 | | | |
| Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2,04608 | | | | | |
| <i>Error: 0,6670 gl: 6</i> | | | | | |
| Concentración (mg/L) | Medias | n | E.E. | | |
| 1000,00 | 6,15 | 3 | 0,47 | A | |
| 500,00 | 6,12 | 3 | 0,47 | A | |
| 100,00 | 5,44 | 3 | 0,47 | A | |
| <i>Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)</i> | | | | | |

Nota: En la tabla se detalla los resultados del análisis de varianza y test de Tukey al 0,05% de probabilidad para la variable Tensoactivos.

Figura 14

Interpretación de la prueba de Tukey Tensoactivos



5.1.5.1. Porcentaje de remoción

A continuación, se presentan los valores de remoción en el análisis de la variable DQO.

Tabla 31

Porcentaje de remoción de DQO en el primer rango de concentraciones a los 30 min de eficiencia parcial.

| Concentración (mg/L) | DQO inicial (mg/L) | DQO final (mg/L) | Remoción (%) |
|----------------------|--------------------|------------------|--------------|
| 100 | 650 | 625 | 3,85 |
| 250 | 650 | 355 | 45,38 |
| 500 | 650 | 472 | 27,38 |
| 750 | 650 | 860 | |
| 1000 | 650 | 974 | |

Tabla 32

Porcentaje de remoción de DQO en el primer rango de concentraciones a los 60 min de eficiencia parcial.

| Concentración (mg/L) | DQO inicial (mg/L) | DQO final (mg/L) | Remoción (%) |
|----------------------|--------------------|------------------|--------------|
| 100 | 650 | 524 | 19,38 |
| 250 | 650 | 391 | 39,85 |
| 500 | 650 | 488 | 24,92 |
| 750 | 650 | 429 | |

| | | |
|------|-----|-----|
| 1000 | 650 | 821 |
|------|-----|-----|

Tabla 33

Porcentaje de remoción de DQO en el primer rango de concentraciones a los 90 min de eficiencia parcial.

| Concentración (mg/L) | DQO inicial (mg/L) | DQO final (mg/L) | Remoción (%) |
|----------------------|--------------------|------------------|--------------|
| 100 | 650 | 520 | 20,00 |
| 250 | 650 | 349 | 46,31 |
| 500 | 650 | 451 | 30,62 |
| 750 | 650 | 827 | |
| 1000 | 650 | 814 | |

Tabla 34

Porcentaje de remoción de DQO en el segundo rango de concentraciones a los 30 min de eficiencia parcial.

| Concentración (mg/L) | DQO inicial (mg/L) | DQO (mg/L) | Remoción (%) |
|----------------------|--------------------|------------|--------------|
| 252 | 650 | 478 | 26,46 |
| 254 | 650 | 445 | 31,54 |
| 256 | 650 | 1333 | |
| 258 | 650 | 804 | |
| 260 | 650 | 856 | |

Tabla 35

Porcentaje de remoción de DQO en el segundo rango de concentraciones a los 60 min de eficiencia parcial.

| Concentración (mg/L) | DQO inicial (mg/L) | DQO (mg/L) | Remoción (%) |
|----------------------|--------------------|------------|--------------|
| 252 | 650 | 478 | 26,46 |
| 254 | 650 | 420 | 35,38 |
| 256 | 650 | 1412 | |
| 258 | 650 | 742 | |
| 260 | 650 | 798 | |

Tabla 36

Porcentaje de remoción de DQO en el segundo rango de concentraciones a los 90 min de eficiencia parcial

| Concentración (mg/L) | DQO inicial (mg/L) | DQO final (mg/L) | Remoción (%) |
|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------|
| 252 | 650 | 524 | 19,38 |
| 254 | 650 | 434 | 33,23 |
| 256 | 650 | 1111 | |
| 258 | 650 | 783 | |
| 260 | 650 | 876 | |

Tabla 37

Porcentaje de remoción de DQO en el tercer rango de concentraciones a los 30 min de eficiencia parcial

| Concentración (mg/L) | DQO inicial (mg/L) | DQO final (mg/L) | Remoción (%) |
|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------|
| 254,2 | 650 | 371 | 42,92 |
| 254,4 | 650 | 409 | 37,08 |
| 254,6 | 650 | 346 | 46,77 |
| 254,8 | 650 | 1091 | |
| 255 | 650 | 420 | 35,38 |

Tabla 38

Porcentaje de remoción de DQO en el tercer rango de concentraciones a los 60 min de eficiencia parcial.

| Concentración (mg/L) | DQO inicial (mg/L) | DQO final (mg/L) | Remoción (%) |
|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------|
| 254,2 | 650 | 366 | 43,69 |
| 254,4 | 650 | 419 | 35,54 |
| 254,6 | 650 | 360 | 44,62 |
| 254,8 | 650 | 1077 | |
| 255 | 650 | 415 | 36,15 |

Tabla 39

Porcentaje de remoción de DQO en el tercer rango de concentraciones a los 90 min de eficiencia parcial.

| Concentración (mg/L) | DQO inicial (mg/L) | DQO final (mg/L) | Remoción (%) |
|----------------------|--------------------|------------------|--------------|
| 254,2 | 650 | 365 | 43,85 |
| 254,4 | 650 | 388 | 40,31 |
| 254,6 | 650 | 365 | 43,85 |
| 254,8 | 650 | 1025 | |
| 255 | 650 | 417 | 35,85 |

5.2.Discusión

En otras investigaciones, sobre el uso de coagulantes naturales para la coagulación y floculación de origen natural para el tratamiento de aguas residuales y superficiales, Gallardo (2017) ha sugerido el uso de diversas especies vegetales por su alta eficiencia como coagulante. Principalmente las semillas son la parte de la planta más utilizada, como las extraídas de: *Moringa oleífera*, *Aesculus hyppocastanum*, *Quercus robur*, *Plantago mayor*, entre otras; además se utiliza la cascara de *Plantago psyllium*, y las vainas de *Cassia obtusifolia*, *Abelmoschus esculentus*.y las cáscara del plátano *Musa paradisiaca*. Además se encontró que la dosis de la cáscara de *psyllium* como coagulante es de 0,4 g/ L y la eficiencia de eliminación de DQO, color y TSS son del 17%, 27% y 41% respectivamente lo que nos indica que los componentes del *P. psyllium* permite la adherencia de las partículas a la parte gomosa del mismo estableciendo un mecanismo de barrido, demostrando que algunos coagulantes naturales por sí solos no son eficientes en la remoción de DQO, color y TSS.

En este trabajo se utilizó el método en seco para la obtención del biopolímero a partir de la cáscara de banano, el cual consiste en secar la cáscara en la estufa a 130 °C por 8h para reducir su humedad la cual inicialmente es del 96 %, Cárdenas (2018) en su publicación “Extracción de almidón a partir de residuos de banano (*Musa paradisiaca*) para la elaboración

de un biopolímero” menciona que para la extracción del almidón utiliza el método en seco, en el cual se puede denotar que en este método se proporciona un rendimiento de 42,63 %.

Díaz (2015) en su artículo “Uso de un polímero natural (quitosano) como coagulante durante el tratamiento de agua para consumo” menciona que durante los ensayos preliminares el uso del sulfato de aluminio ocasionó un descenso del pH en todas sus dosificaciones, fluctuando entre 4,9 y 6,3, por el contrario, el uso del biopolímero quitosano como coagulante se observa un descenso leve del pH en todas sus dosificaciones fluctuando desde 6,7 hasta 7,4.

El caso de los tensoactivos no existió disminución al se utilizó el método SAAM, donde se observó que los valores finales son mayores al valor inicial, Hernan (2007) establece que el “método sustancias activas al azul de metileno (SAAM) es relativamente simple donde comprende tres extracciones sucesivas desde el medio acuoso ácido con exceso de azul de metileno a una fase orgánica con cloroformo, seguida de la lectura del color azul de dicha fase orgánica mediante espectrofotometría”, por lo cual al combinarse con los compuestos existentes en la cascara de banano se originaron limitaciones e interferencias negativas como lo explica Hernán (2007) “las interferencias negativas son causadas por la presencia de tensoactivos catiónicos y otros como las aminas puesto que estas compiten con el azul de metileno en la formación de pares iónicos. El material particulado puede dar interferencia negativa por la absorción de sustancias activas al azul de metileno”.

En la Tabla 11 se exponen los resultados de la prueba de jarras realizada en el parque las Cuadras a pH neutro con diferentes dosis de biopolímero, el biopolímero realizado con cascara de banano en una concentración de 0 mg/L alcanzó una remoción de DQO del 0 %; en una concentración de 100 mg/L alcanzo una remoción de DQO del 2 %, en una concentración de 250 mg/L alcanzo remoción de DQO de más del 43.7 %, en una concentración de 500 mg/L alcanzo una remoción de DQO del 25 %, en una concentración de 750 mg/L alcanzo una

remoción de DQO del 0 %, en una concentración de 1000 mg/L alcanzo una remoción de DQO del 0 %. En concentraciones de 750 y 100 mg/L el valor de la DQO se incrementó en un 30 y 50 %. La dosis óptima para disminuir y concentración de DQO fue de 250 mg/L con una remoción del 43.7 %. Es notorio que conforme se incrementó la dosis del biopolímero las remociones de DQO disminuyó. Con respecto al pH para todos los ensayos no se modificó, manteniéndose lo más cercano a la neutralidad.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

Se concluyó que la cascara de plátano ayudo en la remoción de la DQO mediante el proceso de coagulación y floculación removiendo hasta en un 50%, por el contrario, con respecto a los tensoactivos no se obtuvo un resultado positivo debido al método que utilizamos para su determinación (método SAAM) dado que los componentes de la cascara de plátano reaccionaron negativamente con el azul de metileno provocando el aumento de estos.

La remoción de DQO y tensoactivos con diferentes dosis de biopolímero de cascara de plátano son los siguientes:

Con una concentración de 250 mg/L se removió 43,7 % de la DQO lo que equivale a remover 257 mg de DQO, esto representa 0.97 mg de DQO por cada miligramo de biopolímero.

Con una concentración de 254 mg/L se removió 31 - 40 % de la DQO lo que equivale a remover 433 mg de DQO, esto representa 1,20 mg de DQO por cada miligramo de biopolímero.

Con una concentración de 254,6 mg/L se removió 55 - 57 % de la DQO lo que equivale a remover 360 mg de DQO, esto representa 0.57 mg de DQO por cada miligramo de biopolímero.

Se determinó que la concentración más efectiva para la remoción de DQO fue de 254,6 mg/L mediante el sistema de jarras por medio de coagulación y floculación, en aguas residuales domésticas.

Sin embargo, estas concentraciones no fueron las mismas para la remoción de la DBO₅, donde se evidenció que existió una remoción del 11% de DBO₅ con respecto al valor inicial,

siendo las concentraciones de 100, 108 y 108,6 mg/L, las más efectivas para remover este parámetro.

En las Tablas 10, 11, 12 se exponen los resultados de la prueba de jarras en los diferentes tiempos (30,60 y 90 min) del biopolímero realizado con cáscara de banano. La dosis óptima para disminuir y la concentración de DQO fueron de 254 mg/L con una disminución del 31 – 40 %.

En las Tablas 13, 14, 15 se exponen los resultados de la prueba de jarras en los diferentes tiempos (30,60 y 90 min), el biopolímero realizado con cascara de banano. La dosis óptima para disminuir y concentración de DQO fue de 254,6 mg/L con una disminución del 31 – 40 %.

6.2.Recomendaciones

Como resultado de esta investigación, se generan nuevas posibilidades de experimentar con biopolímeros naturales en aguas residuales, industriales y domésticas. Es importante realizar futuras investigación sobre la efectividad de los biopolímeros ya sea de banano, papa, yuca entre otros; para mejorar su rendimiento en procesos de tratamientos de aguas residuales y eliminar el uso de coagulantes metálicos.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Almea, M. (2017). " *EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS MEDIANTE EL USO DE BIOPOLIMEROS EN AGUA TURBIA DEL ESTERO SALADO*". GUAYAQUIL.
- Collazos, C. J. (2008). *Tratamiento de aguas residuales*. COLOMBIA: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.
- Corral, P. (OCTUBRE de 2016). MUESTREO Y MEDICION IN SITU DE PARAMETROS FISICOQUIMICOS, EN EL RIO MACHANGARA SECTOR SUR-QUITUMBE, PARQUE LINEAL LAS CUADRAS. *TESIS*. QUITO, PICHINCHA.
- Damian, M. (2016). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CLARIFICADOR*. Riobamba.
- Díaz, Y. J. (25 de 11 de 2015). Uso de un polímero natural (quitosano) como coagulante. Barranquilla, Colombia.
- EPMAPS. (2020). *Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito*.
Obtenido de <https://www.aguaquito.gob.ec/programa-para-la-descontaminacion-de-los-rios-de-quito/>
- Exbanlight. (7 de enero de 2019). *Exbanlight*. Obtenido de <https://exbanlight.com/banano-origen/#:~:text=Debemos%20tener%20muy%20presente%20que,clave%20de%20la%20econom%C3%ADa%20ecuatoriana>.
- Freire, M. (OCTUBRE de 2018). EXTRACCION DE ALMIDON A PARTIR DE RESIDUOS DE BANANO (MUSA PARADISIACA) PARA LA ELABORACION DE UN BIOPOLIMERO. QUITO, ECUADOR.
- Freire, M. A. (2018). Extracción de almidón a partir de residuos de banano (*Musa paradisiaca*) para la elaboración de un biopolímero. Cuenca.

- Fúquene, D. (2019). Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES. BOGOTA, COLOMBIA.
- GALLARDO, M. A. (2017). COAGULANTES Y FLOCULANTES NATURALES USADOS EN LA REDUCCIÓN DE TURBIDEZ, SÍLIDOS SUSPENDIDOS, COLORANTES Y METALES PESADOS EN AGUAS RESIDUALES. BOGOTA.
- García, J. A. (Enero de 2018). *PROPUESTA METODOLÓGICA DE INDICADORES DE EVALUACION DE SUSTENTABILIDAD DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS ORIENTADOS AL SECTOR RURAL*. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19075/1/CD-8476.pdf>
- Hamburg, G. (2010). *Tratamiento de aguas procesos biológicos*. Obtenido de https://www.gunt.de/images/download/Conocimientos-bsicos-procesos-anaerobios_spanish.pdf
- INFAGRON. (s.f.). *infoagro*. Obtenido de https://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/platano.htm
- Marsilli, A. (Diciembre de 2005). *Tierramor*. Obtenido de <http://www.tierramor.org/Articulos/tratagua.htm>
- Martinez, N. L. (2018). *ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE UN. PERU*.
- Metcalf y Eddy. (2003). Ingeniería de Aguas Residuales. McGraw-Hill.
- Ministerio de Ambiente, V. y.-R. (14 de 06 de 2007). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/S%C3%B3lidos+Totales+secados+a+103+-+105%C2%BAC..pdf/d4faab4a-34e4-4159-bf4c-50353b101935>

- NAVARRO, M. O. (04 de 06 de 2007). DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO 5días, INCUBACION Y ELECTROMETRÍA. COLOMBIA .
- Porras, L. (2001). Diseño estadístico de experimentos, análisis de la varianza y temas relacionados . Poryecto Sur.
- RODRIGUEZ, C. H. (2007). *TENSOACTIVOS ANIÓNICOS EN AGUA – MÉTODO SAAM*. COLOMBIA: nstituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Romero Rojas, J. A. (2000). *Tratamiento de Aguas Residuales* (Tercera Edición ed.). Bogota, Colombia: Escuela Colombiana de Ingenieria. Recuperado el 27 de Abril de 2020
- Romero, J. A. (1999). *Tratamiento de Aguas Residuales* (Tercera ed.). Bogota, Colombia: Escuela Colombiana de Ingenieria.
- Rudy Solis, J. R. (2012). *MEZCLAS CON POTENCIAL COAGULANTE PARA CLARIFICAR AGUAS SUPERFICIALES*.
- SAE. (09 de 2019). *Servicio de Acreditación Ecuatoriana*. Obtenido de <https://www.acreditacion.gob.ec/wp-content/uploads/2019/09/SAE-LEN-18-019.pdf>
- Shiguano, L. (2019). *EVALUACION DE LA UTILIZACION DEL ALMIDON DE PAPA, YUCA Y BANANO COMO COAGULANTE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA DE UNA INDUSTRIA LACTEA*. QUITO.
- SILVAN, R. S. (2012). MEZCLAS CON POTENCIAL COAGULANTE PARA CLARIFICAR AGUAS SUPERFICIALES. *Int. Contam. Ambiente*, 234.
- SNI. (2017). *Sistema Nacional de Información*. Obtenido de <https://sni.gob.ec/proyecciones-y-estudios-demograficos>
- Telenchano, R. (2017). EVALUACIÓN DE RESIDUOS VEGETALES DE PAPA, YUCA, CAMOTE Y PLÁTANO, COMO COAGULANTE NATURALES PARA EL

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROCESADAS DE LA INDUSTRIA
LACTEA. RIOBAMBA, ECUADOR.

Trujillo, D. L. (2014). Remocion de turbidez en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidon de platano. *ION*, 17-34.

UNESCO. (2003). *AGUA PARA TODA LA VIDA*.

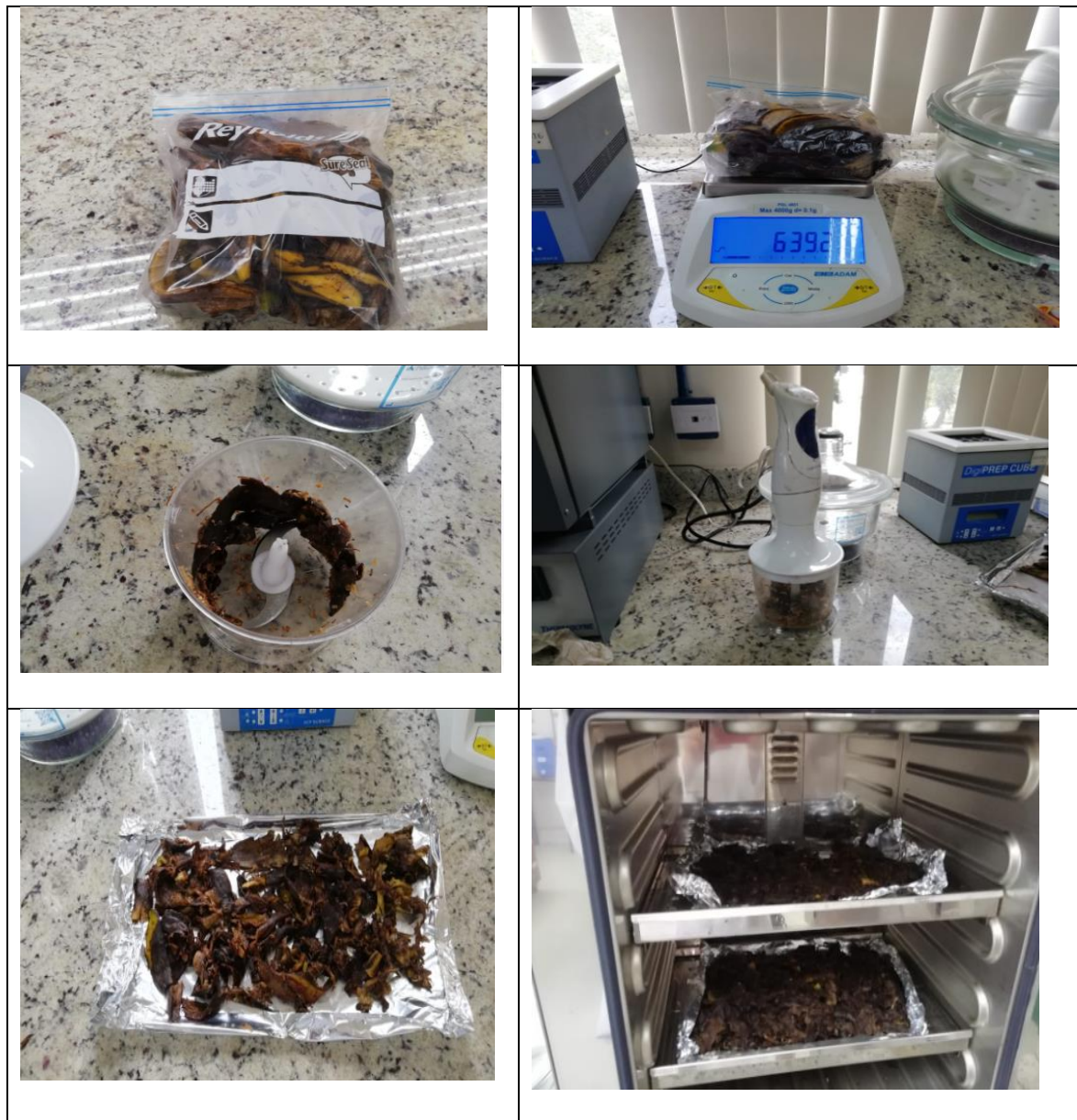
Vaca, H. (2016). *MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, CENTRO POBLADO NONO*. Quito.

Recuperado el 12 de Abril de 2020

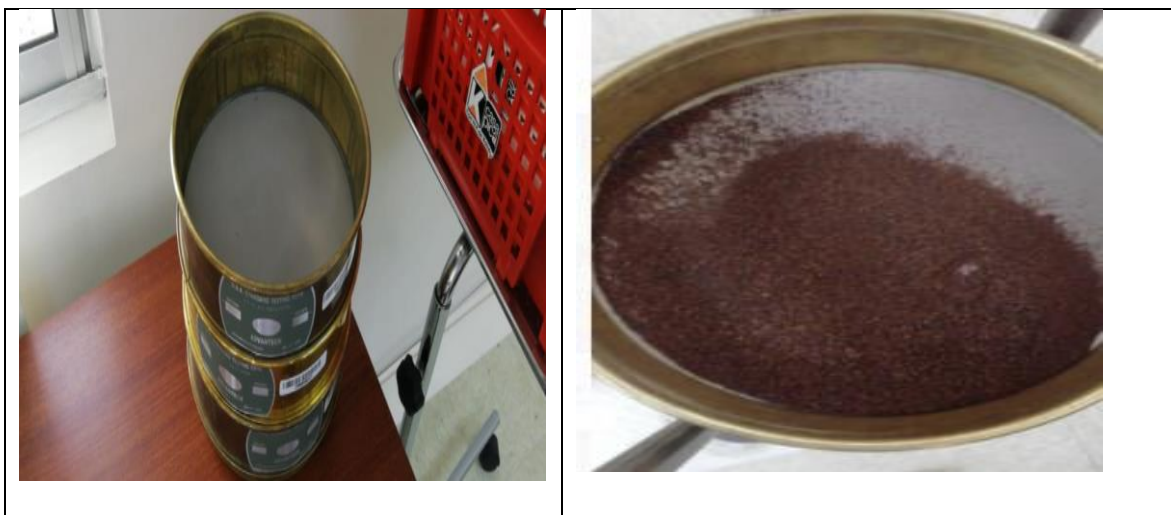
8. ANEXOS

Anexo 1

Registro Fotográfico de la obtención de biopolímero



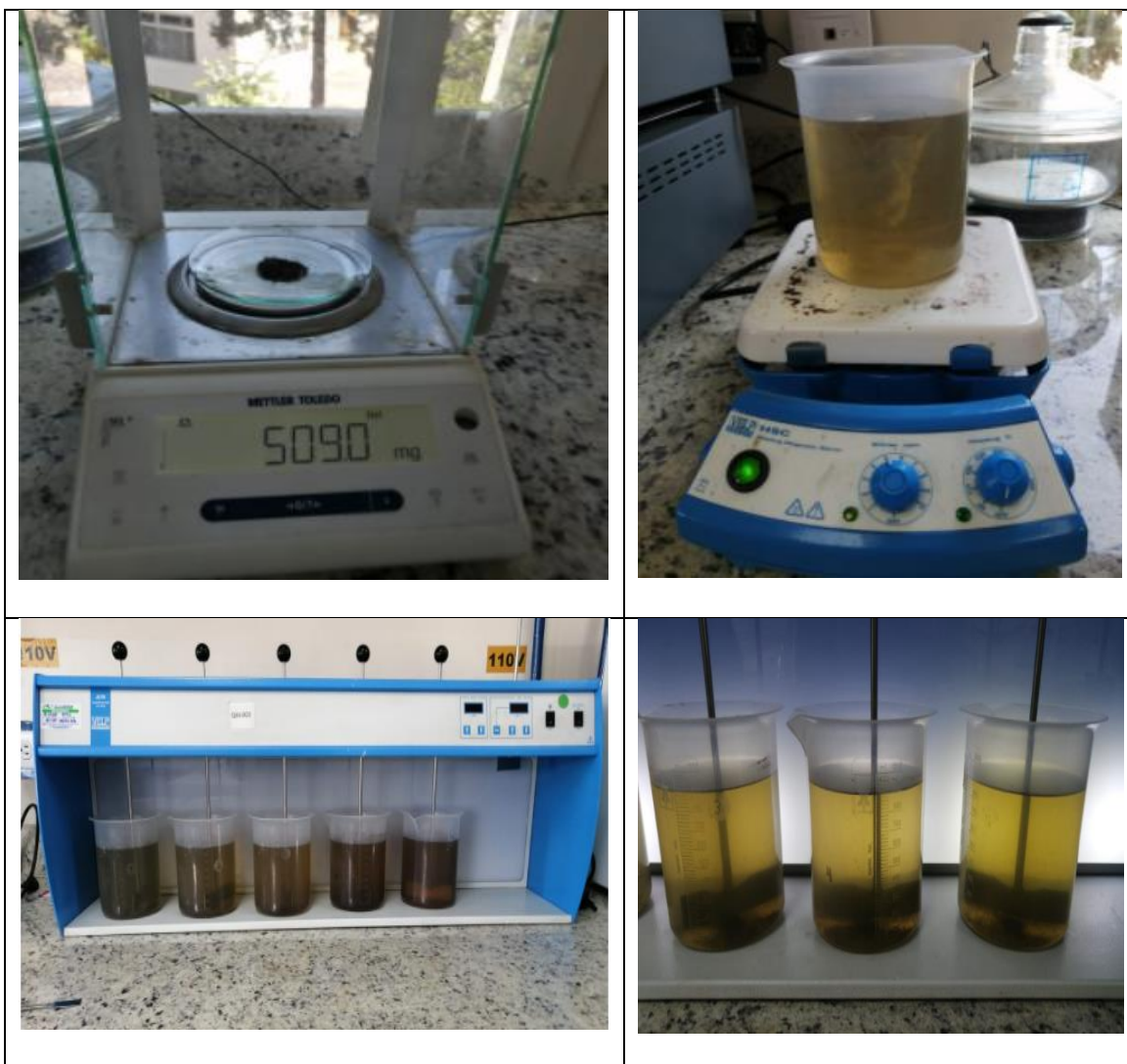




Anexo 2 *Muestreo de agua residual*



Anexo 3 Prueba de jarras



Anexo 4

Análisis de DQO



Anexo 5

Análisis de DBO5

